Robert Axelrod

LA COMPLEJIDAD DE LA COOPERACIÓN

Modelos de cooperación y colaboración basados en los agentes

ACCESO ABIERTO

ROBERT AXELROD

LA COMPLEJIDAD DE LA COOPERACIÓN

Modelos de cooperación y colaboración basados en los agentes

FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

MÉXICO - ARGENTINA - BRASIL - COLOMBIA - CHILE - ESPAÑA
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA - GUATEMALA - PERÚ - VENEZUELA

Primera edición en inglés, 1997
Primera edición en español, 2004

CREATIVE COMMONS

Título original: *The Complexity of Cooperation*
ISBN de la edición original: 0-691-01567-8
© Princeton University Press, 1997

D. R. © 2003, Fondo de Cultura Económica de Argentina, S.A.
El Salvador 5665; 1414 Buenos Aires
e-mail: fondo@fce.com.ar / www.fce.com.ar
Av. Picacho Ajusco 227; 14200 México D.F.

ISBN: 950-557-609-9

Fotocopiar libros está penado por la ley.

Impreso en la Argentina - *Printed in Argentina*
Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Para AMY, LILY *y* VERA

Prefacio

Este libro es una secuela de *The Evolution of Cooperation* (Axelrod, 1984). Ese libro tenía un único paradigma y un tema simple. El paradigma era el Dilema del Prisionero, bipersonal e iterado. El tema era que la cooperación basada en la reciprocidad puede evolucionar y sostenerse, incluso entre egoístas, siempre y cuando exista la perspectiva de una interacción a largo plazo. El tema estaba desarrollado desde muchos ángulos diferentes, incluyendo torneos de computadoras, casos históricos y teoremas matemáticos.

El Dilema del Prisionero, bipersonal e iterado, es la *Escherichia Coli* de las ciencias sociales, ya que permite emprender una variedad muy amplia de estudios en un marco común. Se ha convertido, incluso, en un paradigma estándar para estudiar asuntos en campos tan diversos como la biología evolutiva y los sistemas de computación en red. Su misma simplicidad ha permitido a los politólogos, economistas, sociólogos, filósofos, matemáticos, computadores científicos, biólogos evolutivos y muchos otros hablar los unos con los otros. En efecto, los hallazgos analíticos y empíricos sobre el Dilema del Prisionero en un campo a menudo han conducido a intuiciones en otros campos.[1]

The Evolution of Cooperation, con su enfoque sobre el Dilema del Prisionero, fue escrito durante la Guerra Fría. De hecho, una de sus principales motivaciones fue ayudar a promover la cooperación entre los dos lados de un mundo bipolar. Mi esperanza era que una comprensión más profunda de las condiciones que promueven la cooperación pudiese ayudar a hacer el mundo un poco más seguro. La obra fue bien recibida en los círculos académicos, e incluso entre expertos interesados en investigación de políticas aplicables.[2] Sin embargo, yo era muy consciente de que hay mucho más acerca de la cooperación de

[1] Para un panorama, véase Axelrod y Dion (1988) y Axelrod y D'Ambrosio (1995).

[2] Por ejemplo, en 1990 recibí el nuevo Premio a la Investigación sobre el Comportamiento Aplicable a la Prevención de la Guerra Nuclear [Behavioral Research Relevant to the Prevention of Nuclear War] de la National Academy of Sciences. Del lado soviético, varios intelectuales y científicos importantes de la defensa involucrados en las políticas del control de armamento declararon que habían leído el libro con interés, y lo habían hecho circular entre sus amigos.

cuanto puede ser captado por cualquier modelo único, sin importar cuán amplias sean sus aplicaciones o cuán ricas sean sus implicancias estratégicas.

El presente libro está basado en una serie de estudios que van más allá del paradigma básico del Dilema del Prisionero. Incluye un análisis de estrategias que evolucionan automáticamente, antes que por la intervención humana. También considera estrategias destinadas a afrontar la posibilidad de malentendidos entre los intervinientes o de implementaciones erradas de una opción. Luego expande la base de la cooperación a más de una opción con un costo reducido y una posible ganancia extendida. Incluye la colaboración con otros para establecer y poner en vigor normas de conducta, para ganar una guerra o imponer un estándar industrial, para erigir una nueva organización que pueda actuar en defensa de sus miembros, y para construir una cultura compartida basada en la influencia mutua.

La expansión de las formas potenciales de colaboración implica la expansión de las formas potenciales de competición. El presente volumen, por lo tanto, considera algo más que si los dos intervinientes cooperan o no. Incluye los conflictos entre los que violan y los que respetan una norma, las amenazas y las guerras entre naciones, la competencia entre compañías, las disputas entre organizaciones por la riqueza y la participación y las luchas de competencia de la influencia social para el cambio cultural.

Este libro incluye trabajos realizados entre 1986 y 1996, un período durante el cual la Guerra Fría llegó a su fin y tomó forma una nueva era. Mi propia agenda de investigación fue profundamente afectada por estas transformaciones dramáticas e inesperadas. Las transformaciones de esa década fueron especialmente llamativas porque durante este período fui afortunado en haber tenido oportunidades de participar en actividades internacionales destinadas a promover la cooperación, primero entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, y luego entre los diversos grupos en guerra de la ex Yugoslavia. Resulta una ironía que mi trabajo teórico sobre los juegos bipersonales me llevara a participar en actividades internacionales, precisamente cuando el mundo de poder dual de la Guerra Fría estaba tocando a su fin.

En 1986 me uní a un comité de la National Academy of Sciences que estudiaba la aplicabilidad de las ciencias sociales y del comportamiento a la prevención de la guerra nuclear. Entre otros proyectos, este comité promovió que se investigara en forma paralela y en colaboración con expertos soviéticos sobre tópicos de interés mutuo. Mi participación en este comité me llevó también a unirme a un segundo comité de la National Academy of Sciences, el Comité sobre Seguridad Internacional y Control de Armamento [Committee on International Security and Arms Control]. Este comité estaba constituido prin-

cipalmente por físicos y trabajaba con un grupo soviético que era su contraparte. Nuestra misión era considerar vías fructíferas para las iniciativas del control de armamento que irían más allá de lo que en ese momento estaba en negociación entre los dos gobiernos. Entre sus miembros se contaban científicos con décadas de experiencia en el control de armamento y un antiguo presidente del Estado Mayor Conjunto. Su contraparte, el comité soviético, incluía varios consejeros científicos clave del líder soviético, Mijail Gorbachov.

Participar en estos foros de ciencias sociales y control de armamento me enseñó mucho sobre el modo como los expertos y los activistas políticos veían la política internacional. En particular, me impresionaron los esfuerzos intelectuales de los pensadores líderes de ambos lados para formular conceptos y recomendaciones que capitalizarían las nuevas oportunidades de la época, así como tratarían con los nuevos peligros de la inestabilidad. Las dificultades afrontadas por estos líderes talentosos, experimentados y prácticos reforzaron mi propia fe en el valor potencial de la investigación de procesos políticos y sociales fundamentales.

También fui afectado por lo que sucedía fuera de las reuniones de nuestro comité. Nuestro trabajo me llevó a encuentros en Uzbekistán en 1988 y Estonia en 1989, así como a Rusia. En Estonia, pregunté a nuestros anfitriones soviéticos si podrían encontrar la manera de que nos reuniéramos tanto con los nacionalistas estonios, que entonces estaban acelerando sus demandas de independencia, como con los miembros de la etnia rusa que se les oponían. Reunirlos en una misma habitación era imposible, se me dijo cortésmente, pero se arreglaron encuentros separados para nosotros. Esto me dio una percepción de primera mano de la profundidad del sentimiento nacionalista y elevó mi interés en el conflicto cultural y el nacionalismo como fuerzas fundamentales en el mundo. Estos intereses me llevaron a su vez a un trabajo, incluido en este libro, sobre cómo se conforman los nuevos actores políticos y cómo la influencia social promueve tanto el cambio cultural como la base del cambio político.

En 1989, no obstante, acepté la validez del chiste según el cual si se llegaba a un conflicto entre Estonia y Moscú, el ganador sería el Ejército Rojo. Sin embargo, antes de que se hubiesen cumplido dos años, la Unión Soviética había colapsado y Estonia, así como todas las otras repúblicas, tuvo su independencia.

Así como se iba desarrollando la democracia en Rusia, Yugoslavia se desintegraba. En Bosnia sobrevino una cruel guerra civil, marcada por un nivel de atrocidades que no se habían visto en Europa por cincuenta años. En el apogeo de la lucha, en el verano de 1995, fui invitado por las Naciones Unidas a hablar de mi trabajo sobre la cooperación en una conferencia destinada a reunir a representantes no gubernamentales de todas las facciones en guerra en

la ex Yugoslavia. Los participantes tenían muchas preguntas críticas sobre el modo como mi trabajo sobre el Dilema del Prisionero se aplicaba a la complejidad de sus conflictos, con su poder desigual, con cincuenta lados, y no sólo dos, en conflicto, y con violaciones de las normas de conducta ampliamente aceptadas.

Muchas de las cuestiones planteadas por los participantes no tuvieron respuestas sencillas, pero fueron precisamente aquéllas en las que yo había estado trabajando activamente. El presente volumen incluye modelos que tratan con el poder desigual, con conflictos tanto multilaterales como bilaterales, con malentendidos y malas implementaciones, con la imposición de normas, con nuevas entidades políticas emergentes, y con las bases culturales de la afiliación y polarización política. Aunque no tengo soluciones, creo que analizar resultados a gran escala en términos de las interacciones de los actores puede aumentar nuestra comprensión del conflicto y la cooperación en un mundo complejo.

Los siete capítulos de este libro fueron publicados por primera vez en periódicos y volúmenes de ciencias políticas, estudios de conflicto, ciencias de la organización y ciencias de la computación. Los artículos separados aparecieron originalmente en un espectro tan amplio de publicaciones que es muy poco probable que personas que hayan leído uno o dos de ellos tengan alguna noticia de los otros. Publicar estos artículos en conjunto puede ser de especial valor para tres grupos parcialmente superpuestos de lectores: aquellos que quieren informarse sobre las extensiones del Dilema del Prisionero a escala bipersonal; aquellos que están interesados en el conflicto y la colaboración en una variedad de situaciones, y aquellos que están interesados en los modelos basados en los agentes en las ciencias sociales.

Para situar el trabajo en un contexto más amplio, he añadido una variedad de material nuevo:

1. Un capítulo introductorio que describe los temas comunes del volumen y muestra cómo se relacionan los capítulos entre sí.
2. Material introductorio a cada capítulo que muestra el modo como cada uno de ellos se desarrolló a partir de mis intereses a largo plazo, narra experiencias relacionadas con el proyecto y describe el modo como fue recibido el trabajo.
3. Un apéndice que proporciona recursos para estudiantes y profesionales que quieran hacer su propio modelo basado en los agentes.

Con el material suplementario, el volumen debería ser accesible a un estudiante avanzado de grado que tuviese interés en los aspectos fundamentales del cambio político y social. Los lectores que no estén familiarizados con el Dilema del

Prisionero iterado podrían tener deseos de consultar algún texto clásico de la teoría de los juegos, o bien Axelrod (1984: 1-15). En los pocos lugares en que se emplea un conocimiento especializado, el argumento se explica también en términos simples.

Reconozco con mucho placer el aliento y las críticas de mucha ayuda formuladas por el grupo de investigación BACH: Arthur Burks, Michael Cohen, John Holland, Rick Riolo y Carl Simon. Ha sido un aprendizaje, una dicha y un honor el ser parte del grupo BACH a lo largo de toda una década. Por su ayuda editorial con este volumen, me gustaría agradecer a Amy Saldingér. Por el índice analítico agradezco a Lisa D'Ambrosio. También me gustaría agradecer a todas las personas e instituciones que ayudaron con capítulos de este libro. Sus nombres se ofrecen en los lugares que corresponden. Finalmente, por la ayuda financiera para completar este libro, me gustaría agradecer a la Defense Advanced Project Research Agency por su asistencia a través del Santa Fe Institute, y a la Universidad de Michigan por su asistencia a través del LS&A College Enrichment Fund y la School of Public Policy.

Referencias

AXELROD, Robert (1984), *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books.

AXELROD, Robert y Lisa D'Ambrosio (1995), "Announcement for Bibliography on the Evolution of Cooperation", en *Journal of Conflict Resolution*, 39, p. 190.

AXELROD, Robert, y Douglas Dion (1988), "The Further Evolution of Cooperation", en *Science*, 242 (9 de diciembre), pp. 1385-1390.

Introducción

El título de este libro ilustra los propósitos duales de la obra. Un significado de *La complejidad de la cooperación* se refiere al agregado de complejidad al marco más común para estudiar la cooperación, es decir el Dilema del Prisionero bipersonal e iterado. Agregar complejidad a ese marco permite la exploración de muchas características interesantes e importantes de la competición y la colaboración que están más allá del alcance del paradigma del Dilema del Prisionero.

El segundo significado de *La complejidad de la cooperación* se refiere al uso de los conceptos y las técnicas que han recibido el nombre de teoría de la complejidad. La teoría de la complejidad involucra el estudio de muchos actores y sus interacciones. Los actores pueden ser átomos, peces, gente, organizaciones o naciones. Sus interacciones pueden consistir en atracción, combate, acoplamiento, comunicación, comercio, asociación o rivalidad. Puesto que el estudio de un gran número de actores con patrones de interacciones cambiantes a menudo se vuelve demasiado difícil para una solución matemática, una herramienta primordial de investigación de la teoría de la complejidad es la simulación por computadora. El truco consiste en especificar cómo interactúan los agentes, y luego observar las propiedades que se dan al nivel de la sociedad completa. Por ejemplo, con determinadas reglas sobre los actores y sus interacciones, ¿tienden los actores a alinearse en dos grupos competitivos? ¿Dominan a la población unas estrategias particulares? ¿Se desarrollan patrones claros de comportamiento?

La simulación de agentes y sus interacciones se conoce por diversos nombres, entre ellos: modelado basado en los agentes [*agent-based modeling*], modelado "de abajo hacia arriba" [*bottom-up modeling*] y sistemas sociales artificiales. Cualquiera que sea el nombre empleado, el propósito del modelado basado en los agentes es comprender las propiedades de los sistemas sociales complejos a través del análisis de simulaciones. Este método de hacer ciencia puede contrastarse con los dos métodos estándar, el inductivo y el deductivo. La inducción es el descubrimiento de patrones en la información empírica.[1] Por ejemplo, en las ciencias sociales, la

[1] La inducción como una búsqueda de patrones en la información no debe confundirse con la inducción matemática, que es una técnica para demostrar teoremas.

inducción se utiliza ampliamente en el análisis de las encuestas de opinión y la información macroeconómica. La deducción, en cambio, implica especificar un conjunto de axiomas y demostrar las consecuencias que pueden deducirse de esos supuestos. El descubrimiento de resultados de equilibrio en la teoría de juegos utilizando axiomas de elección racional es un buen ejemplo de deducción.

El modelado basado en los agentes es una tercera manera de hacer ciencia. Como la deducción, comienza con un conjunto de supuestos explícitos. Pero a diferencia de ella, no demuestra teoremas, sino que genera información simulada que puede ser analizada inductivamente. A diferencia de la inducción típica, no obstante, la información simulada proviene de un conjunto de reglas rigurosamente especificadas antes que de una medición directa del mundo real. Mientras que el propósito de la inducción es encontrar patrones en la información y el de la deducción es encontrar las consecuencias de los supuestos, el propósito del modelado basado en los agentes es auxiliar a la intuición.

El modelado basado en los agentes es una forma de hacer a través de experimentos. Aunque los supuestos pueden ser simples, las consecuencias pueden no ser obvias en absoluto. A lo largo de este volumen aparecen numerosos ejemplos de agentes interactuando localmente que producen efectos a gran escala. Estos efectos a gran escala se llaman "propiedades emergentes" del sistema, las cuales a menudo son sorprendentes debido a que puede ser difícil anticipar las consecuencias totales, incluso de formas simples de interacción.[2]

Sin embargo, hay algunos modelos en los que las propiedades emergentes pueden deducirse formalmente. Entre los buenos ejemplos se cuentan los modelos económicos neoclásicos, en los que los agentes racionales que operan bajo fuertes supuestos sobre la disponibilidad de la información y la capacidad de optimizar pueden lograr una eficiente redistribución de recursos entre ellos mismos a través de transacciones sin costo. Pero cuando los agentes utilizan estrategias adaptativas en lugar de optimizadoras, deducir las consecuencias es con frecuencia imposible; resulta necesaria la simulación.

Hoy en día, en las ciencias sociales, la forma dominante de modelado se basa en el paradigma de la elección racional. La teoría de juegos, en particular, está típicamente basada en el supuesto de la elección racional. En mi opinión, la razón para el predominio del abordaje de la elección racional no es que los expertos piensen que es realista. Tampoco la teoría de juegos es utilizada sólo porque ofrece un buen consejo al responsable de las tomas de decisión, puesto que sus supuestos poco realistas socavan mucho de su valor como base para el

[2] Algunos teóricos de la complejidad consideran que la sorpresa forma parte de la definición de emergencia, pero eso plantea la pregunta: ¿sorprendente para quién?

consejo. La verdadera ventaja del supuesto de la elección racional es que a menudo permite la deducción.

La principal alternativa al supuesto de la elección racional es alguna forma de comportamiento adaptativo. La adaptación puede ser en el nivel individual a través del aprendizaje, o puede ser en el nivel de la población a través de la supervivencia y la reproducción diferencial de los individuos más exitosos. En una u otra forma, las consecuencias de los procesos adaptativos a menudo son muy difíciles de deducir allí donde hay muchos agentes interactuantes siguiendo reglas que tienen efectos no lineales. Por ello, la simulación de un modelo basado en los agentes es con frecuencia el único modo viable de estudiar poblaciones de agentes que son adaptativos más que completamente racionales.

Aunque el modelado basado en los agentes emplea la simulación, no apunta a proporcionar una representación exacta de una aplicación empírica particular. Más bien, la meta del modelado basado en los agentes es enriquecer nuestra comprensión de procesos fundamentales que pueden aparecer en una variedad de aplicaciones. Esto exige adherir al principio KISS, que defiende el eslogan del ejército "hazlo simple, estúpido".*

El principio KISS es vital debido al carácter de la comunidad de la investigación. Tanto el investigador como la audiencia tienen una limitada capacidad cognitiva. Cuando se produce un resultado sorprendente, es de mucha ayuda tener confianza en que podemos entender todo lo que formó parte del modelo. Aunque el tópico que se investiga pudiera ser complicado, los supuestos que subyacen en el modelado basado en los agentes deberían ser simples. La complejidad del modelado basado en los agentes debería estar en los resultados simulados, no en los supuestos del modelo.

Por supuesto que hay muchos otros usos de la simulación por computadora en los que la reproducción fiel de una situación particular es importante. Una simulación de la economía dirigida a predecir las tasas de interés de aquí a tres meses necesita ser tan exacta como sea posible. Para este propósito, los supuestos que integran el modelo pueden necesitar ser bastante complicados. Del mismo modo, si se utiliza una simulación para entrenar al personal de un superpetrolero o para desarrollar tácticas para un nuevo avión de combate, la precisión es importante y la simplicidad del modelo no lo es. Pero si la meta es profundizar nuestra comprensión de algún proceso fundamental, entonces la simplicidad de los supuestos es importante, y la representación realista de todos los detalles de una situación particular no lo es.

* *Keep it simple, stupid*, es decir, *KISS*, palabra que además significa, como es sabido, "beso". [N. de T.].

Mi obra anterior sobre el Dilema del Prisionero (Axelrod, 1984) ilustra este tema. Mi principal motivación para aprender acerca de las estrategias efectivas era descubrir cómo podría promoverse la cooperación en la política internacional, especialmente entre el Este y el Oeste durante la Guerra Fría. Como ocurrió, mi abordaje de torneo y el análisis evolutivo que se desarrolló a partir de él sugirió aplicaciones que yo ni siquiera había soñado. Por ejemplo, experimentos controlados muestran que los peces gasterosteos utilizan la estrategia TOMA Y DACA* para lograr la cooperación basada en la reciprocidad (Milinski, 1987).

En una convención de ciencias políticas, una colega se acercó a mí y me dijo que realmente apreciaba mi trabajo y que le fue útil para su divorcio. Me explicó que mi libro le había demostrado que ella había sido una tonta durante su matrimonio, siempre rindiéndose ante su marido. Le pregunté si el libro le había ayudado a salvar su matrimonio. "No", me respondió. "Yo no quería salvar mi matrimonio. Pero me ayudó con los arreglos del divorcio. Empecé a jugar al TOMA Y DACA, y una vez que él aprendió que no me podía llevar por delante, conseguí un arreglo mucho mejor."

El hecho de que un único modelo, en este caso el Dilema del Prisionero, pueda ser útil para comprender la dinámica entre peces de acuario y entre gente que se divorcia no se debe a la precisión del modelo al representar los detalles de una y otra situación. Se debe, en cambio, al hecho de que un modelo extremadamente simple capta una característica fundamental de muchas interacciones. Lo que el Dilema del Prisionero capta tan bien es la tensión entre las ventajas del egoísmo a corto plazo contra la necesidad de sonsacarle cooperación al otro jugador para ser exitoso a largo plazo. La misma simplicidad del Dilema del Prisionero es altamente valiosa para ayudarnos a descubrir y apreciar las profundas consecuencias de los procesos fundamentales involucrados al tratar con esta tensión.

Una moraleja de la historia es que los modelos que apuntan a explorar procesos fundamentales deberían ser juzgados por su fecundidad, no por su precisión. Para este propósito, la representación realista de muchos detalles es innecesaria e incluso contraproducente. Los modelos presentados en el volumen siguen esta misma lógica de simplicidad. La intención es explorar procesos sociales fundamentales. Aunque una aplicación particular puede haber motivado un determinado modelo, el objetivo primario es emprender la exploración de una manera tan general que se puedan iluminar muchas situaciones posibles.

* *TIT FOR TAT strategy.* La frase en inglés sugiere la idea de cierta reciprocidad negativa, y se puede traducir al español de diferentes maneras: "ojo por ojo"; "donde las dan las toman"; "tal para cual"; etc. Elegimos la traducción que aparece en la versión española de Axelrod (1984). [N. de T.]

Tomado como un todo, este libro presenta un conjunto de estudios que están unificados de tres maneras. Primero, todos tratan con problemas y oportunidades de cooperación en un entorno más o menos competitivo. Segundo, todos emplean modelos que usan agentes adaptativos en lugar de racionales. Aunque la gente puede tratar de ser racional, rara vez puede cumplir los requerimientos de información o previsión que los modelos racionales imponen (Simon, 1955; March, 1978). Tercero, todos usan la simulación por computadora para estudiar las propiedades emergentes de las interacciones entre los agentes. Por lo tanto, todos son modelos basados en los agentes. La simulación es necesaria porque las interacciones de los agentes adaptativos conducen de manera típica a efectos no lineales que no responden a las herramientas deductivas de la matemática formal.

Los capítulos pueden ser leídos ya sea separadamente o bien como un todo. El orden representa una progresión que va desde variantes del paradigma del Dilema del Prisionero (capítulos 1 y 2), pasando por diferentes modelos estratégicos (capítulos 3, 4 y 5), hasta un examen de la emergencia de los nuevos actores políticos y cultura compartida (capítulos 6 y 7). El orden de los capítulos es también el orden en el cual hice el trabajo, con la excepción del capítulo 2, que representa un trabajo posterior sobre un tema anterior.

El primer proyecto representa mi esfuerzo por ir más allá del abordaje tipo torneo para generar un entorno estratégico rico. El abordaje tipo torneo requería de movidas de profesionales y no profesionales que intentan, cada uno, desarrollar una estrategia para el Dilema del Prisionero que vaya bien en el entorno provisto por todas las propuestas. Luego de hacer dos rondas del torneo, me pregunté si la cantidad de cooperación que observaba se debía a las expectativas previas de la gente que propuso las reglas. Afortunadamente, un colega, John Holland, había perfeccionado un método automatizado para desarrollar una población de estrategias a partir de un punto de partida aleatorio. La técnica se llama algoritmo genético. La probé, y cumplió sobradamente mis expectativas. Los resultados se encuentran en el capítulo 1.

Una importante extensión del Dilema del Prisionero básico es la consideración de lo que ocurre cuando un jugador malentiende lo que el otro hizo en la movida previa u omite implementar la elección pensada. Estas clases de "ruido" pueden tener un gran impacto en el desempeño de una determinada estrategia, y, por ende, en los mejores medios para alcanzar la cooperación entre egoístas. En la literatura sobre el tema se han propuesto diversas sugerencias para tratar con el ruido, incluso añadir la generosidad o la contrición a la reciprocidad, así como una estrategia completamente diferente basada en el aprendizaje a través del premio y el castigo. Quise ver cómo trabajarían estos abordajes diferentes en

un entorno ruidoso. Un visitante del posdoctorado venido de China, Wu Jianzhong, y yo encontramos que las versiones generosa o contrita de la clásica estrategia TOMA Y DACA iban muy bien en un entorno ruidoso abigarrado, incluso mejor que la estrategia pavloviana. El capítulo 2 explica cómo se desempeñaron estas estrategias y por qué.

Por largo tiempo, yo había estado impaciente por ir más allá del formato bipersonal del Dilema del Prisionero básico. Especialmente, quería descubrir de qué modo podría emerger la cooperación cuando muchas personas interactuaban unas con otras en grupos en lugar de en parejas. Era algo sabido que la extensión directa del Dilema del Prisionero a una versión para *n* personas no sustentaría muy bien la cooperación porque los jugadores no tienen manera de enfocar su castigo sobre algún integrante del grupo que no ha cooperado. No obstante, sí emergen las normas sociales y a menudo son medios bastante poderosos para sustentar la cooperación. Así que desarrollé un "juego de normas" [*a "norms game"*] que permitía a los jugadores castigar a los individuos que no cooperan. Resultó que se necesitó otra vuelta de tuerca para que los cooperantes no se vieran tentados a dejar que alguien más fuese quien cargara con los costos de disciplinar a los no cooperantes. Esto condujo a un estudio de amplio espectro sobre los mecanismos para promover normas (capítulo 3).

Otra forma de cooperación ocurre cuando las personas se organizan a sí mismas en grupos para competir con otros. Éste es, claramente, un ejemplo de colaboración en los intereses de la competición. Tiene lugar de muchas maneras, incluyendo alianzas entre naciones, sociedades estratégicas entre negocios, y coaliciones entre partidos políticos en las democracias parlamentarias. Luego de haber trabajado sobre el problema de la formación de coaliciones en Italia como parte de mi disertación a finales de la década de 1960, estaba impresionado por el modo como los partidos políticos deseaban trabajar con otros que fueran similares a ellos (Axelrod, 1970). Dos décadas más tarde, regresé a este tema de elegir bandos basado en una afinidad más que en una ventaja estratégica. Trabajando con un estudiante graduado, Scott Bennett, desarrollé un modelo para el modo como los jugadores eligen bandos. Encontramos que el modelo realmente hacía un buen trabajo al explicar cómo estuvieron alineados los países europeos en la Segunda Guerra Mundial (capítulo 4).

El mismo modelo trabajó bien incluso al explicar cómo tomaron partido las compañías de computadoras en la competencia para desarrollar estándares para el sistema operativo UNIX (capítulo 5). Éste fue un trabajo realizado con Scott Bennett y tres colaboradores de la Michigan Business School: Will Mitchell, Robert E. Thomas y Erhard Bruderer.

Un problema todavía más profundo es ver cómo cooperan a veces los actores independientes a un grado tal que renuncian a la mayor parte de su independencia. El resultado es un nuevo nivel de organización que se comporta como un actor independiente por derecho propio. Los organismos multicelulares evolucionaron de este modo, y así lo hicieron muchas grandes organizaciones de negocios. Mi enfoque para analizar cómo pueden surgir nuevos niveles de actores políticos utiliza un modelo de guerra, amenazas y compromisos. El modelo basado en los agentes y sus resultados se ofrecen en el capítulo 6.

Mientras que el modelo en el capítulo 6 atribuye la emergencia de nuevos actores a la dinámica de afrontar el conflicto, consideré que era necesario estudiar una cuestión aun más fundamental: cómo las personas llegan a ser más semejantes de modo que les resulte más fácil trabajar juntos en primer lugar. Esto condujo a un estudio del proceso de influencia social y emergencia de la cultura compartida. Una vez más, las transformaciones del entorno post Guerra Fría ayudaron a enfatizar la importancia de regresar sobre algunas cuestiones fundamentales acerca de las bases para la cooperación dentro de las sociedades, así como entre ellas. El modelo resultante de influencia social y cambio cultural se ofrece en el capítulo 7.

Dos apéndices proporcionan material de apoyo sobre el modelado basado en los agentes. El apéndice A desarrolla los conceptos y métodos de comparar modelos basados en lo agentes a través de un proceso llamado "alineamiento". El alineamiento es necesario para determinar si dos sistemas de modelado pueden producir el mismo resultado, lo que a su vez es la base para los experimentos críticos y para las pruebas de si un modelo puede incluir a otro. La obra ofrece el estudio de un caso de alineamiento, empleando el modelo de la influencia social presentado en el capítulo 7. El proyecto fue realizado por Robert Axtell, Joshua Epstein y Michael Cohen. El apéndice B ofrece recursos para estudiantes y expertos que quieran hacer su propio modelado basado en los agentes. Incluye consejos para programar esos modelos, ejercicios para desarrollar las propias habilidades y lecturas sugeridas acerca de aplicaciones de la teoría de la complejidad y el modelado basado en los agentes en las ciencias sociales.

Asociado a este volumen existe un sitio de Internet.[3] El sitio incluye el código de la fuente y la documentación de la mayoría de los modelos en este libro. También proporciona vínculos con muchos tópicos relacionados con la teoría de la complejidad, el modelado basado en los agentes y la cooperación.

[3] http://pscs.physics.lsa.umich.edu/Software/ComplexCoop.html

Referencias

AXELROD, Robert (1970), *Conflict of Interest*, Chicago, Markham.

—— (1984), *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books. [Trad. esp.: *La evolución de la cooperación*, Madrid, Alianza, 1984.]

MARCH, James G. (1978), "Bounded Rationality, Ambiguity and the Engineering of Choice", en *Bell Journal of Economics*, 9, pp. 587-608.

MILINSKI, Manfred (1987), "TIT FOR TAT in Sticklebacks and the Evolution of Cooperation", en *Nature*, 23, pp. 434-435.

SIMON, Herbert A. (1955), "A Behavioral Model of Rational Choice", en *Quarterly Journal of Economics*, 69, pp. 99-118.

1. Desarrollo de nuevas estrategias

Este capítulo comenzó con un martillo y un clavo. El clavo era un problema que yo quería resolver. El martillo era una herramienta que yo quería probar y que parecía adecuada para clavar mi clavo. El clavo problemático era la pregunta de si el éxito de la estrategia TOMA Y DACA en mis torneos de computadora dependía en gran parte de las creencias previas de las personas que proponían estrategias sobre cómo debían ser las otras propuestas. En otras palabras, ¿estarían los resultados del torneo influenciados por lo que las personas creían que los otros estaban haciendo?, ¿triunfaría algo así como la reciprocidad del TOMA Y DACA en una situación de torneo sin ningún preconcepto sobre las tendencias ni siquiera sobre la sensibilidad de los otros?

Responder a esta pregunta requeriría un método para generar nuevas estrategias que no involucrara los preconceptos humanos. Una herramienta para hacer precisamente esto fue desarrollada por John Holland, un computador científico de Michigan. Conocía a John de un pequeño grupo de investigación del que ambos formamos parte durante años. Se trataba del grupo BACH, denominado así de acuerdo con los nombres de sus miembros originales: Arthur Burks, yo, Michael Cohen y John Holland. La técnica del algoritmo genético de John (Holland, 1975) estaba inspirada en la capacidad de la evolución para descubrir soluciones adaptativas a problemas difíciles. Hacia mediados de la década de 1980, el algoritmo genético había demostrados ser una técnica de investigación muy útil para descubrir soluciones efectivas para problemas de computadoras altamente complejos (Goldberg, 1989; Mitchell, 1996).

Mi propio interés en la simulación evolutiva data de 1960, cuando hice un proyecto de ciencias para la escuela secundaria sobre simulación por computadora de formas hipotéticas de vida y medio ambiente. En la Universidad de Chicago me especialicé en matemáticas, pero también pasé un verano con el Comité de Biología Matemática leyendo sobre biología evolutiva. A pesar de estos intereses en las computadoras, las matemáticas y la evolución, elegí la carrera de ciencias políticas. Los problemas en los que más quería trabajar tenían que ver con la prevención del conflicto entre naciones, especialmente la

guerra nuclear. Luego de obtener mi doctorado en Yale, enseñé política internacional en Berkeley y luego me trasladé a la Universidad de Michigan, donde obtuve un cargo adjunto en el Departamento de Ciencias Políticas y en lo que ahora es la Escuela de Políticas Públicas.

En Michigan, Michael Cohen se convirtió en mi colega más cercano. Insistió en sugerir que conociera a John Holland y leyera su trabajo. Al fin sucumbí, para mi gran dicha y beneficio. Entre otras cosas, aprendí que el algoritmo genético de John tenía un gran potencial como método para descubrir respuestas altamente adaptativas, incluso en contextos complicados. Así que cuando tuve el "clavo" de la necesidad de estudiar la evolución de las estrategias del Dilema del Prisionero y el "martillo" del algoritmo genético, esto pareció ser la combinación perfecta.

Lo primero que hice fue probar el algoritmo genético para ver si podía desempeñarse bien en un entorno que yo creía conocer bastante bien, es decir, las reglas propuestas para la segunda vuelta de mi torneo. El algoritmo superó mis expectativas más audaces, ya que desarrolló estrategias que fueron más efectivas de cuanto yo creía siquiera posible en este entorno. Ya convencido de que éste era, efectivamente, un martillo que podría golpear mi clase de clavos, a continuación lo utilicé en mi problema real. Comencé con una población de estrategias estrictamente aleatorias (elegidas de un vasto universo de estrategias posibles que no tenían ningún sesgo ni hacia la cooperación ni hacia la reciprocidad), y dejé que la población evolucionara utilizando el algoritmo genético. En un plazo muy breve, la población evolucionó hacia estrategias que se comportaban de manera muy parecida a un TOMA Y DACA, y por cierto estaba logrando una cooperación basada en la reciprocidad. Esto demostraba que el éxito de la reciprocidad en mis dos vueltas de propuestas humanas no era una carambola que dependía de creencias previas particulares acerca de cómo lucirían las otras propuestas.

Estaba complacido de que las anteriores pretensiones acerca de la reciprocidad fuesen incluso más robustas de lo que había imaginado. Estaba complacido también porque no tendría que consagrar mi vida a realizar más y más vueltas de mi torneo de computadora, como mucha gente me había solicitado que lo hiciera.

El artículo resultante se publicó primero como capítulo de un libro sobre el algoritmo genético y técnicas de computadora relacionadas. Es ampliamente citado en la literatura de la computación científica sobre el algoritmo genético. La razón parece ser que el Dilema del Prisionero proporciona una tarea fácil de comprender, y el desempeño del algoritmo genético en esta tarea es bastante impactante. Además, ésta fue la primera aplicación del algoritmo genético a

estrategias en desarrollo en una situación interactiva. Desafortunadamente, la aparición de este texto en una colección dedicada a la computación científica significó que no fuese muy accesible a los científicos sociales.

El proyecto tiene una secuela interesante que tiene que ver con el valor adaptativo de la reproducción sexual. La historia involucra a William D. Hamilton, con quien yo había trabajado antes en aplicaciones biológicas de mi trabajo sobre el Dilema del Prisionero (Axelrod y Hamilton, 1981).[1] Cuando yo estaba terminando mi texto sobre el algoritmo genético, Bill me contó de su teoría de que el sexo era una adaptación para resistir a los parásitos. Bill es uno de los biólogos evolutivos más eminentes del mundo, así que cuando sugirió una teoría novedosa, yo la tomé en serio, sin importar cuán extravagante sonara al principio. Él señaló que virtualmente todos los grandes animales y plantas se reproducen sexualmente, aun cuando la reproducción sexual puede ser muy costosa. En los mamíferos, por ejemplo, el costo puede ser tan alto como dos a uno, puesto que la mitad de los adultos, los machos, no tienen cría. Qué ventaja conferida por el sexo compensa ese inmenso costo es uno de los grandes enigmas sin resolver en la biología evolutiva. La idea de Bill, presentada en forma aproximada, fue que todos los grandes animales y plantas tienen el problema de resistir a los parásitos por medio de la capacidad de distinguir a sus propias células de los parásitos que evolucionan para engañarlos. Los parásitos, al ser mucho más pequeños, se reproducen mucho más rápido que los anfitriones, de manera que pueden evolucionar más rápido que los anfitriones. El sexo, razonó Bill, permite al retoño de los anfitriones ser diferente tanto de la madre como del padre, y por ende hace difícil para los parásitos que se han adaptado bien a un anfitrión se adapten bien al retoño. Al hacer malabares con los genes de dos progenitores, el sexo permite a la especie anfitriona resistir a sus parásitos de evolución rápida.

Ésta era una idea fascinante. Bill me contó, sin embargo, que tenía dificultades para elaborar un modelo matemático que pudiera resolverlo. El problema era que el modelo tendría que incluir muchos genes, pero los modelos matemáticos de la genética se vuelven típicamente inmanejables cuando hay más de dos genes interactuantes. "No hay problema", dije. Tenía una técnica basada en el algortimo genético de Holland que fácilmente podía manejar docenas de genes interactuantes. Además, podía representar claramente la competencia entre anfitriones y parásitos. Así que Bill y yo trabajamos con un computador científico graduado, Reiko Tanese. Adaptamos el algoritmo genético para probar si la reproducción sexual de los anfitriones podría superar efectivamente la desventaja de dos a uno en comparación con anfitriones asexuales que también tuviesen que lidiar con parásitos en

[1] Nuestro texto también se incluye en forma revisada en el capítulo 5 de Axelrod (1984).

evolución. Funcionó. El texto resultante fue una reseña de explicaciones alternativas del origen del sexo y una demostración de que la explicación del propio Bill era teóricamente razonable (Hamilton y otros, 1990). Hasta el día de hoy, estoy encantado con que un politólogo haya sido capaz de adaptar una herramienta de la computación científica y de ese modo contribuir a la biología evolutiva. Sobre los orígenes del sexo, nada menos. Claramente el "martillo" de John Holland es efectivo para toda una variedad de "clavos".

El uso del algoritmo genético para estudiar la evolución de estrategias ha tenido muchas otras aplicaciones en tiempos recientes. Éstas son dos de mis favoritas:

- En lugar de comenzar por una selección fortuita de un conjunto muy rico de estrategias para el Dilema del Prisionero como lo hice yo, Kristain Lindgren (1991) comenzó con las estrategias más simples posibles y utilizó una extensión del algoritmo genético para desarrollar posibilidades más y más complejas. El resultado fue una alternancia de períodos de estabilidad e inestabilidad a medida que un patrón dominante de estrategias iba siendo invadido por otro. El comportamiento dinámico de la población se ve altamente complicado con largos equilibrios transitorios y puntuados. Éste es uno de mis usos favoritos del algoritmo genético, porque presenta la evolución de las estrategias desde lo simple hasta lo más complejo.
- En una situación completamente diferente, Smith y Dike (1995) utilizaron el algoritmo genético para desarrollar tácticas de combate aéreo para una nueva clase de avión de combate. Las maniobras resultantes permitieron al avión de investigación X-31 explotar su capacidad para mantener el control después de una pérdida brusca de velocidad en un combate simulado contra un oponente convencional. El proyecto demuestra que el sistema de aprendizaje genético puede descubrir reglas para maniobras novedosas y efectivas sin volar un prototipo en costosas pruebas de vuelo.

La efectividad del algoritmo genético y su evolución hacia la reciprocidad en una población que pone en juego el Dilema del Prisionero ayuda a validar la robustez de la reciprocidad como un estrategia efectiva que no depende de las creencias previas de los otros jugadores.

Referencias

AXELROD, Robert (1984), *The Evolution of Cooperation,* Nueva York, Basic Books. [Trad. esp.: *La evolución de la cooperación,* Madrid, Alianza, 1984.]

AXELROD, Robert y William D. Hamilton (1981), "The Evolution of Cooperation", en *Science*, 211, pp. 379-403.

GOLDBERG, David E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Reading, Addison-Wesley.

HAMILTON, William, Robert Axelrod y Reiko Tanese (1990), "Sexual Reproduction as an Adaptation to Resist Parasites (A Review)", en *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 87, pp. 3566-3573.

HOLLAND, John H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor, University of Michigan Press (2ª ed., 1992).

LINDGREN, Kristain (1991), "Evolutionary Phenomena in Simple Dynamics", en C.G. Langton, C. Taylor, J.D. Farmer y S. Rasmussen (comps.), *Artificial Life II*, SFI Studies in Complexity, vol. 10, Reading, Addison-Wesley, pp. 295-312.

MITCHELL, Melaine (1996), *An Introduction to Genetic Algorithms*, Cambridge, MIT Press.

SMITH, Robert E., y Bruce A. Dike (1995), "Learning Novel Fighter Combat Maneuver Rules Via Genetic Algorithm", en *International Journal of Expert Systems*, 8, pp. 247-276.

DESARROLLO DE NUEVAS ESTRATEGIAS

La evolución de las estrategias en el Dilema del Prisionero iterado*

Robert Axelrod

En entornos complejos, los individuos no están completamente capacitados para analizar la situación y calcular su estrategia óptima.[1] En cambio, puede esperarse que adapten su estrategia en el tiempo basándose en lo que ha sido efectivo y lo que no. Una analogía útil para el proceso de adaptación es la evolución biológica. En la evolución, las estrategias que han sido relativamente efectivas en una población se vuelven generalizadas, y las estrategias que han sido menos efectivas se vuelven menos comunes en la población.

La evolución biológica ha sido altamente exitosa en descubrir métodos complejos y efectivos de adaptación a situaciones ambientales muy ricas. Esto es llevado a cabo por la reproducción diferencial de los individuos más exitosos. El proceso evolutivo requiere también que las características exitosas sean heredadas a través de un mecanismo genético que deje cierta chance de que se descubran nuevas estrategias. Un mecanismo genético que permite que se descubran nuevas estrategias es la mutación. Otro mecanismo es la cruza, por la cual la reproducción sexual toma algún material genético de un progenitor y alguno del otro.

Los mecanismos que han permitido que la evolución biológica sea tan buena en la adaptación han sido empleados en el campo de la inteligencia artificial. La técnica de la inteligencia artificial es lo que se llama "algoritmo genético" (Holland, 1975). Aunque se han empleado otros métodos de representar estra-

* Adaptado de Robert Axelrod, "The Evolution of Strategies in the Iterated Prisoner's Dilemma", en Lawrence Davis (comp.), *Genetic Algorithms and Simulated Annealing*, Londres, Pitman y Los Altos, Morgan Kaufman, 1987, pp. 32-41. © Robert Axelrod.

[1] Agradezco a Stephanie Forrest y Reiko Tanese por su ayuda con la programación de computadoras, a Michael D. Cohen y John Holland por sus útiles sugerencias, y a la Harry Frank Guggenheim Foundation y la National Science Foundation por su apoyo financiero.

tegias en juegos como el autómata limitado (Rubinstein, 1986; Megiddo y Wigderson, 1986; Miller, 1989; Binmore y Samuelson, 1990; Lomborg, 1991), el algoritmo genético en sí no ha sido utilizado previamente en configuraciones de la teoría de los juegos.

Este ensayo, en primer lugar, demostrará el algoritmo genético en el contexto de una rica configuración social: el entorno formado por las estrategias propuestas en un torneo computado del Dilema del Prisionero. Los resultados muestran que el algoritmo genético es sorprendentemente exitoso para descubrir estrategias complejas y efectivas que están bien adaptadas a este entorno complejo. En segundo lugar, el ensayo muestra cómo pueden utilizarse los resultados de este experimento de simulación para iluminar importantes cuestiones en el abordaje de la adaptación evolutiva, tales como la ventaja relativa de desarrollar nuevas estrategias basadas en una o dos estrategias madres, el papel de los compromisos anteriores al dar forma a los pasajes evolutivos, y el grado en que los procesos evolutivos son óptimos o arbitrarios.

El método de simulación comprende los siguientes pasos:

1. la especificación de un entorno en el que el proceso evolutivo pueda operar;
2. la especificación de la genética, incluyendo el modo como la información sobre el cromosoma simulado se traduce en una estrategia para el individuo simulado;
3. el diseño de un experimento para estudiar los efectos de realidades alternativas (tales como repetir el experimento bajo condiciones idénticas para ver si las mutaciones aleatorias conducen a resultados evolutivos convergentes o divergentes);
4. el trámite del experimento para un número especificado de generaciones en una computadora, y el análisis estadístico de los resultados.

El entorno simulado

Un interesante conjunto de desafíos ambientales resulta del hecho de que muchos de los beneficios buscados por cosas vivientes tales como las personas son desproporcionadamente accesibles a los grupos que cooperan. El problema es que aunque un individuo puede beneficiarse de la cooperación mutua, a cada uno puede irle aun mejor al explotar los esfuerzos cooperativos de los otros. Pasado un período de tiempo, los mismos individuos pueden interactuar de nuevo, dando lugar a complejos patrones de interacciones estratégicas (Axelrod y Hamilton, 1981).

El Dilema del Prisionero es una elegante encarnación del problema de lograr una cooperación mutua, y por lo tanto provee la base para el análisis. En el Dilema del Prisionero, dos individuos pueden, cada uno de ellos, ya sea cooperar o desertar. La recompensa a un jugador afecta a su éxito reproductivo. No importa lo que el otro haga, la opción egoísta de desertar arroja una recompensa más alta que la cooperación. Pero si ambos desertan, a los dos les va peor que si ambos hubiesen cooperado. El cuadro 1.1 muestra la matriz de recompensa del Dilema del Prisionero usada en este estudio.

CUADRO 1.1. *El Dilema del Prisionero*

		Jugador columna	
		Coopera	Deserta
Jugador hilera	Coopera	$R = 3, R = 3$ Recompensa por mutua cooperación	$B = 0, T = 5$ Rédito del bobo y tentación de desertar
	Deserta	$T = 5, B = 0$ Tentación de desertar y rédito del bobo	$P = 1, P = 1$ Pena por mutua deserción

Nota: Los réditos del jugador hilera están listados primero.

En muchas configuraciones, los mismos dos individuos pueden encontrarse más de una vez. Si un individuo puede reconocer a un interactuante anterior y recordar algunos aspectos de los resultados previos, entonces la situación estratégica se convierte en un Dilema del Prisionero iterado. Una estrategia podría tomar la forma de una regla de decisión que especificara la probabilidad de la cooperación o la deserción como una función de la historia de la interacción hasta el momento.

Para ver qué tipo de estrategia puede prosperar en un entorno abigarrado de estrategias más o menos sofisticadas, realicé un torneo por computadora para el Dilema del Prisionero. Las estrategias fueron propuestas por teóricos de los juegos en economía, sociología, ciencias políticas y matemática (Axelrod, 1980a). Las catorce movidas y una estrategia totalmente aleatoria fueron pareadas unas con otras en un torneo tipo *round robin.** Algunas de las estrategias eran bastante intrincadas. Un ejemplo es una que en cada movida modela el comporta-

* En el que todos los jugadores se enfrentan con cada uno de los otros por lo menos una vez. [N. de T.]

miento del otro jugador como un proceso de Markov, y luego utiliza la inferencia bayesiana para seleccionar la que parece ser la menor opción a largo plazo. No obstante, el resultado del torneo fue que el más alto promedio del marcador fue alcanzado por la más simple de las estrategias: TOMA Y DACA. Esta estrategia es simplemente la de cooperar en la primera jugada y luego hacer lo que el otro jugador haya hecho en la jugada precedente. Por ende, es una estrategia de cooperación basada en la reciprocidad.

Los resultados de la primera vuelta se hicieron circular y se solicitaron movidas para la segunda vuelta. Esta vez hubo sesenta y dos movidas de seis países (Axelrod, 1980b). La mayoría de los contendientes eran aficionados a la computación, pero había también profesores de biología evolutiva, física y computación científica, así como también las cinco disciplinas representadas en la primera vuelta. TOMA Y DACA fue propuesta nuevamente por el ganador de la primera vuelta, Anatol Rapoport. Ganó otra vez.

La segunda vuelta del torneo por computadora proporciona un entorno rico para probar la evolución del comportamiento. Resulta que sólo ocho de las movidas pueden utilizarse para explicar qué tan bien anduvo una determinada regla para todo el conjunto. Estas ocho reglas pueden pensarse como representativas de todo el conjunto en el sentido de que los puntajes que una determinada regla alcanza con ellas puede utilizarse para predecir el puntaje promedio que la regla alcanza sobre todo el conjunto. En efecto, el 98 % de la variación en los puntajes del torneo se explica al conocer el desempeño de una regla con estas ocho representativas. Así que estas estrategias representativas pueden usarse como un entorno complejo en el cual evaluar una simulación evolutiva. Lo que se necesita a continuación es una manera de representar el material genético de una población de manera tal que el proceso evolutivo pueda ser estudiado en detalle.

El algoritmo genético

La inspiración sobre cómo conducir los experimentos de simulación de genética y evolución proviene de un procedimiento de inteligencia artificial desarrollado por el computador científico John Holland y denominado algoritmo genético (Holland, 1975, 1980; Goldberg, 1989). Para una excelente introducción al algoritmo genético, véase Holland (1992) y Riolo (1992). La idea se basa en el modo como un cromosoma sirve a un doble propósito: proporciona tanto una representación de aquello en lo que un organismo se convertirá como la materia real que puede ser transformada para producir nuevo material genético para la siguiente generación.

Antes de entrar en detalles, puede ser de ayuda dar un breve vistazo al modo como trabaja el algoritmo genético. El primer paso es especificar un modo de representar cada una de las estrategias admisibles como una cuerda de genes en un cromosoma que puede experimentar transformaciones, tales como la mutación. Luego la población inicial se construye a partir del conjunto admisible (tal vez simplemente eligiendo al azar). En cada generación, la efectividad de cada individuo en la población es determinada haciendo funcionar al individuo en el ambiente estratégico vigente. Finalmente, las estrategias relativamente exitosas se utilizan para producir un retoño que se parece a sus progenitores. Pares de retoños exitosos son seleccionados para acoplarse y producir el retoño de la siguiente generación. Cada retoño toma parte de su material genético de un progenitor y parte de otro. Además, ocasionalmente se introduce material completamente nuevo a través de la mutación. Después de muchas generaciones de selección por estrategias relativamente exitosas, el resultado bien podría ser una población que es sustancialmente más exitosa en el ambiente estratégico dado que la población original.

Para explicar cómo puede operar el algoritmo genético en un contexto de juego, considérense las estrategias accesibles para jugar el Dilema del Prisionero iterado. Para ser más específicos, considérese el conjunto de estrategias que son deterministas y utilícense los resultados de las tres movidas previas para hacer una elección en la movida actual. Puesto que hay cuatro resultados posibles para cada movida, hay 4 x 4 x 4 = 64 diferentes historias de las tres movidas previas. Por lo tanto, para determinar su elección de cooperación o deserción, una estrategia sólo necesita determinar qué hacer en cada una de las situaciones que se pudieran plantear. Esto podría ser especificado por una lista de sesenta y cuatro *C* y *D* (*C* por cooperación y *D* por deserción). Por ejemplo, uno de estos sesenta y cuatro genes indica si el individuo coopera o deserta cuando se encuentra en una rutina de tres deserciones mutuas. Otras partes del cromosoma cubrirían todas las demás situaciones que pudieran surgir.

Para poner en marcha la estrategia desde el comienzo del juego, también es necesario especificar sus premisas iniciales sobre las tres movidas hipotéticas que precedían al comienzo del juego. Hacer esto requiere seis genes más, lo que hace un total de setenta *loci* en el cromosoma.[2] Esta cuerda de setenta *C* y *D* especificaría lo que el individuo haría en cada circunstancia posible y definiría completamente, por ende, una estrategia particular. La cuerda de setenta genes serviría también como el cromosoma del individuo para ser usado en la reproducción y la mutación.

[2] Los seis genes premisa codifican las presuntas elecciones *C* o *D* hechas por el individuo y el otro jugador en cada una de las tres movidas antes de que la interacción comience realmente.

Hay un número enorme de estrategias que pueden ser representadas en esta forma. De hecho, el número es 2^{70}, lo que equivale a 10^{21}.[3] Una búsqueda exhaustiva de buenas estrategias en esta enorme colección de estrategias está sin duda fuera de cuestión. Si una computadora hubiese examinado estas estrategias a razón de 100 por segundo desde el comienzo del universo, a esta altura se habría cotejado menos de un 1%.

Para encontrar estrategias efectivas en un conjunto tan enorme, se necesita una técnica muy poderosa. Aquí es donde entra el "algoritmo genético" de Holland. Fue inspirado originalmente por la genética biológica, pero se lo adaptó como una técnica general de resolución de problemas. En el presente contexto, se lo puede ver como un modelo de una "genética mínima" que puede utilizarse para explorar aspectos teóricos de la evolución en entornos ricos. El bosquejo del programa de simulación opera en cinco etapas (véase cuadro 1.2).

CUADRO 1.2. *La simulación básica*

I. Se fija la población inicial con cromosomas aleatorios.
II. Para cada una de las 50 generaciones.
  A. Para cada uno de los 20 individuos.
    1. Para cada una de las 8 representativas.
      a) Utilizar la parte premisa del cromosoma como un supuesto individual acerca de las tres movidas previas.
      b) Para cada una de las 151 movidas.
        (1) Hacer que la opción del individuo de cooperar *(C)* o desertar *(D)* se base en el gen que codifica qué hacer dadas las tres movidas previas.
        (2) Hacer que la opción de *C* o *D* de las representativas se base en su propia estrategia aplicada a la historia del juego hasta ese punto.
        (3) Actualizar el puntaje del individuo basado en el resultado de esta movida (agregar 3 puntos si ambos cooperaron, 5 puntos si la representativa cooperó y el individuo desertó, etcétera).
  B. Reproducir la siguiente generación.
    1. Para cada individuo asignar el número probable de apareamientos basado en la función ascendente (1 para un puntaje promedio, 2 para un puntaje que se desvía del estándar por encima del promedio, etcétera).
    2. Para cada uno de los 10 apareamientos construir dos retoños de los dos progenitores seleccionados utilizando la cruza y la mutación.

[3] Algunos de estos cromosomas dan lugar a estrategias equivalentes porque ciertos genes podrían codificar historias que no surgirían, según como estén situados los *loci*. Sin embargo, esto no hace necesariamente más fácil el proceso de investigación.

1. Se elige una población inicial. En el presente contexto, los individuo iniciales pueden representarse por cuerdas aleatorias de setenta *C* y *D*.
2. Se hace funcionar a cada individuo en el entorno vigente para determinar su efectividad. En el presente contexto, esto significa que cada jugador individual usa la estrategia definida por su cromosoma para jugar un Dilema del Prisionero iterado con otras estrategias, y la puntuación de un individuo es el promedio de todas las partidas que juega.[4]
3. Los individuos relativamente exitosos son seleccionados para tener más retoños. El método utilizado es dar a un individuo promedio un acoplamiento, y dar dos acoplamientos a un individuo que es una desviación del estándar más efectiva que el promedio. Un individuo que es una desviación del estándar por debajo del promedio de la población no obtendría entonces ningún acoplamiento.
4. Los individuos exitosos están entonces aleatoriamente emparejados para producir dos retoños por acoplamiento. Por conveniencia, se mantiene una medida de población constante. La estrategia de un retoño se determina a partir de las estrategias de los dos progenitores. Esto se hace utilizando dos operadores genéticos: la cruza y la mutación.
   a. La cruza es una manera de construir el cromosoma de los dos retoños a partir de los cromosomas de los dos progenitores. Puede ilustrarse mediante un ejemplo de dos progenitores, uno de los cuales tiene setenta *C* en su cromosoma (que indican que cooperará en cada posible situación que pueda surgir), y el otro tiene setenta *D* en su cromosoma (que indican que siempre desertará). La cruza selecciona uno o más lugares para romper los cromosomas de los progenitores a fin de construir dos retoños cada uno de los cuales tiene algún material genético de cada uno de los progenitores. En el ejemplo, si un simple quiebre se produce después del tercer gen, uno de los retoños tendrá tres *C* seguidas de sesenta y siete *D*, mientras que el otro retoño tendrá tres *D* seguidas de sesenta y siete *C*.
   b. La mutación en los retoños ocurre al cambiar aleatoriamente una proporción muy pequeña de las *C* por *D* o viceversa.
5. Esto da una nueva población. Esta nueva población exhibirá patrones de comportamiento que se parecen más a los de los individuos exitosos de la generación previa y menos a los de los no exitosos. Con cada nueva generación, será más probable que los individuos con puntajes relativamente altos

[4] El puntaje es en realidad un promedio cargado con las ocho reglas representativas; las cargas fueron elegidas para dar la mejor representación del conjunto completo de estrategias en la segunda vuelta del torneo.

transmitan parte de sus estrategias, mientras que será menos probable que los individuos relativamente no exitosos logren transmitir alguna parte de sus estrategias.

Resultados de la simulación

Las simulaciones por computadora se hicieron usando una medida de población de veinte individuos por generación. Los niveles de cruza y mutación se escogieron promediando una cruza y una semimutación por cromosoma por generación. Cada juego consistía en 151 movidas, la duración promedio del juego usada en el torneo. Con cada uno de los veinte individuos encontrándose con las ocho representativas, esto hacía unas 24.000 movidas por generación. Una partida consistía en cincuenta generaciones. Se realizaron cuarenta partidas bajo condiciones idénticas para permitir una valoración de la variabilidad de los resultados.

Los resultados son notables: a partir de un punto de partida estrictamente aleatorio, el algoritmo genético desarrolló poblaciones cuyo miembro promedio era tan exitoso como la mejor regla del torneo: TOMA Y DACA. La mayoría de las estrategias que evolucionaron en la simulación recuerdan en realidad a TOMA Y DACA, ya que tienen muchas de las propiedades que hacen tan exitosa a TOMA Y DACA. Por ejemplo, cinco alelos de comportamiento en los cromosomas evolucionaron en la vasta mayoría de los individuos para darles patrones de comportamiento que resultaron adaptativos en este entorno y reflejaron lo que TOMA Y DACA haría en similares circunstancias. Estos patrones son:

1. No sacudas el bote: continúa cooperando después de tres cooperaciones recíprocas (lo que puede abreviarse como *C* después de *RRR*).
2. Sé susceptible: deserta cuando el otro jugador deserta inesperadamente (*D* después de recibir *RRS*).
3. Acepta una disculpa: continúa cooperando después de que la cooperación ha sido restaurada (*C* después de *TBR*).
4. Olvida: coopera cuando la cooperación mutua ha sido restaurada después de una explotación (*C* después de *BRR*).
5. Acepta una rutina: deserta después de tres deserciones mutuas (*D* después de *PPP*).

Las reglas desarrolladas se comportan con las representativas específicas en gran medida como lo hace TOMA Y DACA. Como TOMA Y DACA lo hizo, la mayoría de las

reglas desarrolladas funcionaron bien al lograr casi una completa cooperación mutua con siete de las ocho representativas. Al igual que TOMA Y DACA, la mayoría de las reglas desarrolladas funcionan pobremente tan sólo con una de las representativas, llamada AJUSTADORA, que ajusta su tasa de deserción para tratar de explotar al otro jugador. Con todo, el 95% de las veces las reglas desarrolladas hacen la misma elección que TOMA Y DACA haría en la misma situación.

Aunque la mayoría de las partidas involucran a poblaciones cuyas reglas son muy similares a TOMA Y DACA, en once de las cuarenta partidas, la regla media funciona en realidad sustancialmente mejor que TOMA Y DACA.[5] En estas once partidas, las poblaciones desarrollaron estrategias que consiguen explotar a una de las ocho representativas al costo de lograr algo menos de cooperación con otras dos. Pero el efecto neto es una ganancia en efectividad.

Éste es un logro notable porque para ser capaz de alcanzar esta efectividad agregada, una regla debe ser capaz de hacer tres cosas. Primero, debe ser capaz de discriminar entre una representativa y otra basada únicamente en el comportamiento que el otro jugador manifiesta espontáneamente o es inducido a manifestar. Segundo, debe ser capaz de ajustar su propio comportamiento para explotar a una representativa que se ha identificado como un jugador explotable. Tercero, y tal vez lo más difícil, debe ser capaz de lograr esta discriminación y explotación sin crearse demasiados problemas con las otras representativas. Esto es algo que ninguna de las reglas originalmente propuestas al torneo era capaz de hacer.

Estas reglas muy efectivas evolucionaron al romper el consejo más importante desarrollado en el torneo por computadora: el de ser "amable", es decir, nunca ser el primero en desertar. Estas reglas altamente efectivas siempre desertan en la primera movida misma, y a veces también en la segunda movida, y utilizan las elecciones del otro jugador para discriminar lo que debe hacerse a continuación. Las reglas altamente efectivas tuvieron entonces respuestas que les permitieron "disculparse" y alcanzar la mutua cooperación con la mayoría de las representativas inexplotables, y respuestas diferentes que les permitieron explotar a una representativa que era explotable.

Aunque estas reglas son altamente efectivas, no sería exacto decir que son mejores que TOMA Y DACA. Aunque son mejores en el entorno particular que consiste en las proporciones fijas de las ocho representativas de la segunda vuelta del torneo por computadora, probablemente no son muy robustas en otros

[5] El criterio según el cual es sustancialmente mejor que TOMA Y DACA es un puntaje medio de 450 puntos, comparado con el puntaje medido para TOMA Y DACA de 428 con estas ocho representativas.

entornos. Además, en una simulación ecológica, estas reglas estarían destruyendo la base de su propio éxito a medida que la representativa explotada fuera volviéndose una parte más y más pequeña del entorno (Axelrod, 1984: 49-52, 203-205). Aunque el algoritmo genético en ocasiones fue capaz de desarrollar reglas que son más efectivas que cualquier jugada en el torneo, el algoritmo sólo fue capaz de hacer eso probando a muchos individuos en muchas generaciones contra un entorno fijo. En suma, el algoritmo genético es muy bueno en lo que la evolución real hace tan bien: desarrollar adaptaciones altamente especializadas para configuraciones ambientales específicas.

En la evolución de estas estrategias altamente efectivas, la simulación por computadora empleó la reproducción sexual, donde dos progenitores aportaron material genético para cada retoño. Para ver qué pasaría con la reproducción asexual, se realizaron cuarenta partidas adicionales en las que sólo un progenitor aportaba material genético para cada retoño. En estas partidas, las poblaciones evolucionaron una vez más hacia reglas que funcionaron casi tan bien como TOMA Y DACA en la mayoría de los casos. No obstante, las partidas asexuales sólo fueron la mitad de satisfactorias para desarrollar poblaciones en las que el miembro medio era sustancialmente más efectivo que TOMA Y DACA.[6]

Hasta aquí, las simulaciones han tratado con poblaciones que evolucionan en el contexto de un entorno constante. ¿Qué pasaría si el entorno también cambiara? Para examinar esta situación, se llevó a cabo otro experimento de simulación con reproducción sexual en el cual el entorno consistía en la población en evolución en sí. En este experimento, cada individuo juega al Dilema del Prisionero iterado con cada miembro de la población incluyendo a su propia pareja en lugar de con las ocho representativas. En un momento dado, el entorno puede ser bastante complejo. Para que a un individuo le vaya bien hace falta que su estrategia logre una alta efectividad promedio con las veinte estrategias que están presentes en la población. Así, a medida que las reglas más efectivas tienen más descendencia, el entorno mismo cambia. En este caso, la adaptación debe hacerse ante un blanco en movimiento. Por lo demás, el proceso de selección es dependiente de la frecuencia, es decir que la efectividad de una estrategia depende de las estrategias que están siendo utilizadas por todos los miembros de la población.

El resultado de las diez partidas realizadas de esta manera exhibe un patrón muy interesante (para una partida típica, véase la figura 1-1). Desde un punto

[6] Esto sucedió en cinco de las cuarenta partidas con reproducción asexual comparado con once de las cuarenta partidas con reproducción sexual. Esta diferencia es significativa en el nivel 0,05 utilizando la prueba de q^2 de una sola vía.

de partida aleatorio, la población evoluciona apartándose de la cooperación inicialmente exhibida, sea cual fuere. Las reglas menos cooperativas funcionan mejor que las más cooperativas porque al principio hay pocos de los otros jugadores que sean respondedores; y cuando el otro jugador es no respondedor, lo más efectivo que puede hacer un individuo es simplemente desertar. Esta cooperación disminuida produce a su vez que todos obtengan puntajes más bajos a medida que la deserción mutua se hace más y más común. Sin embargo, después de unas diez o veinte generaciones, la tendencia comienza a revertirse. Algunos jugadores desarrollan un patrón de corresponder a la cooperación que encuentran; y estos jugadores que corresponden tienden a prosperar porque les puede ir muy bien con otros que también corresponden sin que esto signifique ser explotados por mucho tiempo por aquellos que sólo desertan. Los puntajes promedio de la población comienzan entonces a aumentar a medida que la cooperación basada en la reciprocidad se va estableciendo cada vez mejor. Así que el entorno social evolutivo condujo a un patrón de cooperación disminuida y efectividad disminuida, seguidos por una reversión completa basada en una capacidad desarrollada para discriminar entre aquellos que corresponderán a la cooperación y aquellos que no lo harán. A medida que los que corresponden prosperan, se extienden por la población, lo que da por resultado más y más cooperación y una efectividad cada vez mayor.

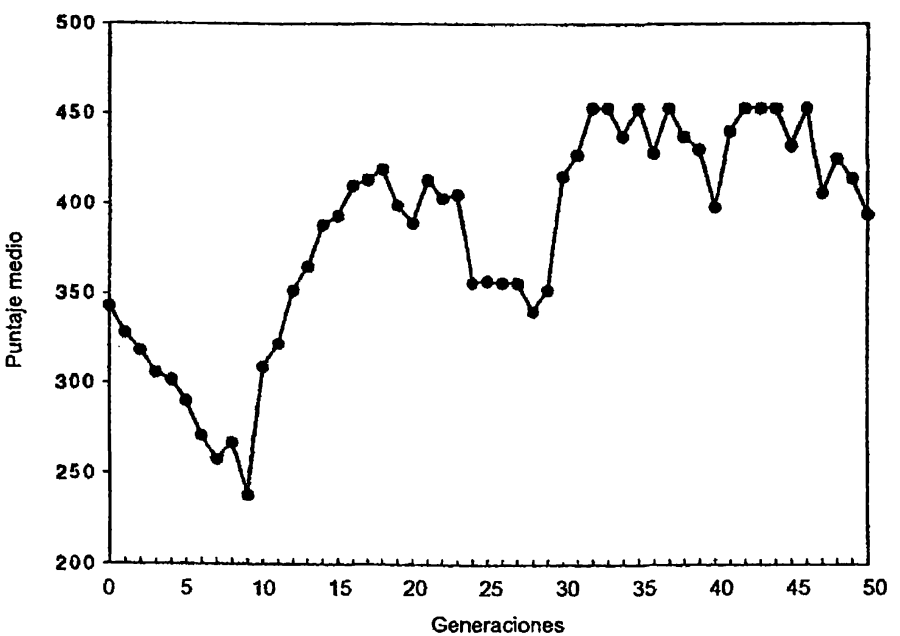

FIGURA 1.1. *El Dilema del Prisionero en un entorno que evoluciona*

Conclusiones

1. El algoritmo genético es un método altamente efectivo de búsqueda de estrategias efectivas en un vasto espacio de posibilidades. Siguiendo a Sewall Wright (1977: 452-454), el problema para la evolución puede conceptualizarse como una búsqueda de puntos relativamente altos en un campo multidimensional de combinaciones de genes, donde la altura corresponde a la aptitud. Cuando el campo tiene muchos puntos óptimos, la búsqueda se torna difícil. Cuando el número de dimensiones en el campo se hace grande, la búsqueda es aun más difícil. Lo que la simulación por computadora demuestra es que el sistema mínimo del algoritmo genético es un método altamente eficiente para investigar un espacio multidimensional así de complejo. El primer experimento muestra que incluso en un campo de genes de setenta dimensiones, pueden encontrarse estrategias efectivas dentro de cincuenta generaciones. Algunas veces, el algoritmo genético encontró combinaciones de genes que violan el modo previamente aceptado de operación (no ser el primero en desertar) para lograr una efectividad aun mayor de la que se ha creído posible.
2. La reproducción sexual ayuda de hecho al proceso de búsqueda. Esto quedó demostrado por la oportunidad mucho mayor de lograr poblaciones altamente efectivas en el experimento sexual en comparación con el experimento asexual.[7]
3. Algunos aspectos de la evolución son arbitrarios. En configuraciones naturales, uno puede observar que una población tiene escasa variabilidad en un gen específico. En otras palabras, uno de los alelos para ese gen se ha vuelto fijo a lo largo de la población. Uno podría verse tentado a suponer a partir de ello que el alelo es más adaptativo que cualquier otro alelo. Sin embargo, éste podría no ser el caso. La simulación de la evolución permite repeticiones de las mismas condiciones para ver cuánta variabilidad hay en los resultados. En efecto, las simulaciones muestran dos razones por las cuales la convergencia en una población puede ser arbitraria en realidad.

[7] En biología, la reproducción sexual aparece al costo de reducir la fecundidad. Por ende, si los machos proporcionan poca o ninguna asistencia a la prole, para que el sexo sea estable tiene que surgir una aptitud extra en un promedio alto (hasta del doble) como una propiedad de la reproducción sexual. La ventaja debe provenir, presumiblemente, de la recombinación, pero ha sido difícil de identificar en biología. Un modelo de simulación ha demostrado que la ventaja bien puede estar en la necesidad de recombinar defensas para derrotar a numerosos parásitos (Hamilton y otros, 1990). A diferencia de la biología, en las aplicaciones de la inteligencia artificial, el costo añadido (computacional) de la sexualidad es pequeño.

a. Los genes que no tienen mucho efecto en la aptitud del individuo pueden volverse fijos en una población porque "le piden el aventón" a otros genes que sí lo tienen (Maynard Smith y Haigh, 1974). Por ejemplo, en las simulaciones, algunas secuencias de tres movidas pueden ocurrir muy raramente, de manera que lo que los genes correspondientes dictan en estas situaciones puede no importar mucho. Sin embargo, si toda la población desciende de unos pocos individuos, entonces estos genes irrelevantes pueden estar fijados en los valores que sus ancestros han compartido. Repetidas partidas de una simulación permiten notar que algunos genes se tornan fijos en una población pero no en otra, o que se tornan fijos de diferentes maneras en distintas poblaciones.
b. En algunos casos, algunas partes del cromosoma son arbitrarias en contenido, pero lo que no es arbitrario es que se las mantenga constantes. Al ser fijas, otras partes del cromosoma pueden adaptarse a ellas. Por ejemplo, las simulaciones de los cromosomas individuales tienen seis genes dedicados a codificar las premisas acerca de los tres movimientos que precedieron al primer movimiento del juego. Cuando el entorno han sido las ocho representativas, las poblaciones en diferentes partidas de la simulación desarrollaron diferentes premisas. Dentro de cada partida, no obstante, las poblaciones fueron habitualmente muy coherentes acerca de las premisas: los seis genes premisa se volvieron fijos. Además, dentro de cada población, estos genes usualmente se tornaron fijos bastante temprano. Es interesante que diferentes poblaciones hayan desarrollado premisas bien diferentes. Lo que fue importante para el proceso evolutivo fue fijar la premisa alrededor de la cual se presupone la historia al comienzo, de manera que las otras partes del cromosoma puedan adaptarse sobre la base de una premisa dada.

4. Hay una negociación entre las ganancias a obtener de la flexibilidad y las ganancias a obtener del compromiso y la especialización (March, 1991). La flexibilidad podría ayudar a largo plazo, pero en un sistema evolutivo, los individuos también tienen que sobrevivir en el corto plazo si han de reproducirse. Esta característica de la evolución surge en muchos niveles.
   a. Como las simulaciones lo han mostrado, las premisas se tornaron fijas bastante temprano. Esto dio a entender un compromiso sobre qué partes del cromosoma serían consultadas en las primeras movidas, y esto a su vez significaba abandonar la flexibilidad a medida que más partes del cromosoma evolucionaban sobre la base de lo que se había fijado. Esto a su vez significaba que sería difícil para una población cambiarse a una premisa diferente. Por ende, se abandonó la flexibilidad para que las ventajas del compromiso pudieran ser cosechadas.

b. También hay una negociación entre las ganancias a corto y a largo plazo en el modo como se hizo la selección en los experimentos de simulación. En una generación cualquiera habría, de manera típica, algunos individuos a los que les iría mucho mejor que al promedio, y algunos a los que les iría sólo un poco mejor que al promedio. En el corto plazo, la manera de maximizar el desempeño esperado de la siguiente generación sería que virtualmente toda la descendencia proviniese de los mejores individuos de la presente generación. Pero esto implicaría una rápida reducción en la variabilidad genética de la población, y una consecuente desaceleración del proceso evolutivo de allí en más. Si también se les diese una oportunidad de tener alguna descendencia a los moderadamente exitosos, esto ayudaría a las perspectivas de la población a largo plazo al costo de la optimización en el corto plazo. Así, hay una negociación intrínseca entre la explotación y la exploración, esto es, entre explotar lo que ya funciona mejor y explorar las posibilidades que eventualmente podrían evolucionar en algo todavía mejor (Holland, 1975: 160).

5. Los compromisos evolutivos pueden ser irreversibles. Por ejemplo, en la mayoría de las poblaciones que afrontan el entorno de las ocho representativas, los individuos desarrollaron estrategias que son muy similares a TOMA Y DACA. Dado que a TOMA Y DACA le ha ido mejor en el torneo por computadora en sí, no pensé que fuera posible lograr algo mucho mejor con un proceso evolutivo. Pero como lo advertí anteriormente, en más o menos la cuarta parte de las partidas de simulación con reproducción sexual, la población en efecto desarrolló estrategias sustancialmente mejores; estrategias que eran bastante diferentes de TOMA Y DACA. Estas estrategias altamente efectivas desertaron ya en la primera movida, y a menudo también en la segunda movida, a fin de conseguir información para determinar si el otro jugador era del tipo de los que pueden ser explotados o no. Las poblaciones más comunes de estrategias cooperaron desde el comienzo y emplearon la reciprocidad de una manera análoga a TOMA Y DACA. Aunque estas estrategias más comunes podrían mutar fácilmente para probar una deserción al comienzo del juego, ese comportamiento sería extremadamente costoso a menos que el individuo ya tuviese maneras efectivas de utilizar la información resultante. Además, una vez que la población hubiese evolucionado para ser casi tan efectiva como TOMA Y DACA, esa mutación tendría que ser lo bastante efectiva como para sobrevivir el tiempo suficiente para ser perfeccionada. Por ende, una vez que la población toma una ruta específica (en este caso, hacia la reciprocidad) se la puede hacer caer fácilmente en la trampa de una máxima local. En efecto, sólo el hecho de que se realizaron suficientes partidas de simulación

condujo al descubrimiento de que en este entorno particular la reciprocidad era sólo una máxima local, y de que algo mejor era en realidad posible. En una situación de campo, ese descubrimiento podría no ser posible, porque podría haber esencialmente sólo una combinación genética.

Tópicos que pueden someterse a simulación

La metodología para la simulación genética desarrollada en este texto puede usarse para explorar procesos de aprendizaje en configuraciones de la teoría de los juegos. Ésta es una lista de asuntos que pueden ser estudiados con simulaciones genéticas, inspiradas por analogías con la biología evolutiva:

1. *Mutación.* El abordaje por simulación desarrollado aquí sugiere que hay una negociación intrínseca para una combinación genética entre la exploración de las posibilidades (que se hace mejor con una alta tasa de mutación) y la explotación de las posibilidades ya contenidas en la combinación genética vigente (que se hace mejor con una tasa baja de mutación). Esto sugiere, a su vez, la ventaja de adaptar las tasas de mutación a la tasa de cambio en el entorno.[8]
2. *Cruza.* En la reproducción sexual, la cruza sirve para dar a cada retoño material genético de ambos progenitores. Las tasas de cruza que son demasiado bajas con frecuencia darían cromosomas completos de material genético de un solo progenitor a un retoño. Pero las tasas de cruza que son demasiado altas con frecuencia dividirían conjuntos coadaptados de alelos que están en el mismo cromosoma. Tal vez la existencia de una multiplicidad de cromosomas (en lugar de un cromosoma extenso) no es sólo una conveniencia mecánica, sino que es una adaptación a la necesidad de bajas tasas de cruza sin la desventaja de que se torne probable que cada retoño reciba material genético de un solo progenitor.
3. *Inversión.* La inversión cambia el orden de los genes en un cromosoma. Puede acercar más a los conjuntos coadaptados de alelos en un cromosoma de manera tal que sean separados por la cruza con menor frecuencia. ¿Cómo se determina la tasa ideal de inversión?
4. *Principios de codificación.* Se sabe que los cromosomas biológicos contienen material que no codifica directamente las proteínas, sino que realiza otros papeles, tales como demarcar los límites de los genes, o que tal vez no cum-

[8] Le debo esta sugerencia a Michael D. Cohen.

ple ninguna función. También puede aparecer material genético en forma altamente redundante en el cromosoma. Los experimentos de simulación genética podrían arrojar nueva luz sobre las implicancias teóricas de diversos esquemas de codificación y su posible papel en la reducción de errores y la regulación. O podría mostrar que cierto material genético puede existir como "jinetes libres".

5. *Genes dominantes y recesivos.* Los famosos experimentos de Mendel demuestran que los alelos dominantes y recesivos sirven para superar la preocupación de Darwin de que la mezcla de las características de los progenitores eliminaría la variabilidad de la población. La simulación genética puede usarse para explorar las implicancias de estos u otros mecanismos genéticos para el mantenimiento de la variabilidad de la población frente a la presión de una selección para una optimización local. En particular, debería ser posible explorar cuáles tipos de características fenotípicas están mejor codificadas en términos de los genes dominantes y recesivos, y cuáles están mejor codificadas en otros sistemas de expresión genética.
6. *Evolución gradual contra evolución puntuada.* Los experimentos de simulación genética también podrían arrojar luz sobre el debate contemporáneo acerca de si la evolución procede por pasos graduales o tiende a moverse en forma espasmódica. Este tipo de trabajo podría requerir simulaciones de decenas de miles de generaciones, pero las partidas de esa longitud son factibles.
7. *Viscosidad de la población.* Pueden existir obstáculos para el apareamiento aleatorio debido a fuerzas geográficas u otras que tiendan a favorecer las subdivisiones de la población. Ya se ha hecho cierto modelado por computadora para modelos de este tipo (Boorman y Levitt, 1980: 78-87; Tanese, 1989), que revelan claves sobre las características cualitativas de la difusión de un rasgo social basado en la selección dependiente de la frecuencia.
8. *Especiación y nichos ecológicos.* Cuando existen distintos nichos ecológicos, una única especie tiende a diferenciarse en dos o más especies para sacar ventaja de las diferentes oportunidades ofrecidas por nichos diferentes. En términos de aprendizaje, la diferenciación en dos o más especies significa que una nueva estrategia se forma a partir de ideas representadas sólo en parte de la población total. La simulación genética puede explorar este proceso al ayudar a especificar las condiciones bajo las cuales las ventajas de la especialización pesan más que sus desventajas de oportunidades más estrechas de apareamiento y reducida flexibilidad ecológica. El punto fundamental es que pensar en la genética como en un problema de simulación da una nueva perspectiva del funcionamiento del proceso de aprendizaje.

Las simulaciones genéticas ofrecidas en este ensayo son sistemas altamente abstractos. Las poblaciones son muy pequeñas, y el número de generaciones es pequeño. De modo más significativo, el proceso genético sólo tiene dos operadores: la mutación y la cruza. Comparado con la genética biológica, éste es un sistema altamente simplificado. Sin embargo, el algoritmo genético exhibió una notable capacidad para desarrollar estrategias sofisticadas y efectivas en un entorno complejo.

Referencias

AXELROD, Robert (1980a), "Effective Choice in the Prisoner's Dilemma", en *Journal of Conflict Resolution*, 24, pp. 3-25.

—— (1980b), "More Effective Choice in the Prisoner's Dilemma", en *Journal of Conflict Resolution*, 24, pp. 379-403.

—— (1984), *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books. [Trad. esp.: *La evolución de la cooperación*, Madrid, Alianza, 1984.]

AXELROD, Robert y William D. Hamilton (1981), "The Evolution of Cooperation", en *Science*, 211, pp. 1390-1396.

BINMORE, Ken y Larry Samuelson (1990), "Evolutionary Stability in Repeated Games Played by Finite Automata", Texto de Trabajo 90-17, Centro de Investigaciones sobre la Economía y la Teoría Social, Departamento de Economía, Universidad de Michigan, Ann Arbor.

BOORMAN, Scott A. y Paul R. Levitt (1980), *The Genetics of Altruism*, Nueva York, Academic Press.

GOLDBERG, D. E. (1983), *Computer-Aided Gas Pipeline Operation Using Genetic Algorithms and Machine Learning*, tesis de doctorado, Universidad de Michigan (Ingeniería Civil).

—— (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Reading, Addison-Wesley.

GREFENSTETTE, John J. (comp.) (1985), *Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, Pittsburgh, The Robotics Institute of Carnegie-Mellon University.

HAMILTON, William D. (1980), "Sex Versus Non-Sex Versus Parasite", en *Oikos*, 35, pp. 282-290.

—— (1982), "Heritable True Fitness and Bright Birds: A Role for Parasites", en *Science*, 218, pp. 384-387.

HAMILTON, William D., Robert Axelrod y Reiko Tanese (1990), "Sexual Reproduction as an Adaptation to Resist Parasites", en *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 87, pp. 3566-3573.

HOLLAND, John H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor, University of Michigan Press.

—— (1980), "Adaptative Algorithms for Discovering and Using General Patterns in Growing Knowledge Bases", en *International Journal of Policy Analysis and Information Systems*, 4, pp. 245-268.

—— (1992), "Genetic Algorithms", en *Scientific American*, 267, julio, pp. 66-72.

LOMBORG, Bjorn (1991), "An Evolution of Cooperation", tesis de maestría, Instituto de Ciencias Políticas, Universidad de Aarhus, Dinamarca.

MARCH, James G. (1991), "Exploration and Exploitation in Organizational Learning", en *Organizational Science*, 2, pp. 71-87.

MAYNARD Smith, J. y J. Haigh (1974), "The Hitch-Hiking Effect of a Favorable Gene", en *Genetical Research, Cambridge*, 23, pp. 23-35.

MEGIDDO, Nimrod y Avi Wigderson (1986), "On Play by Means of Computing Machines", IBM Research Division, BJ 4984 (52161), Yorktown Heights.

MILLER, John (1989), "The Coevolution of Automata in the Repeated Prisoner's Dilemma", texto de trabajo, 89-003, Santa Fe Institute, Santa Fe (EE.UU.).

RIOLO, Rick L. (1992), "Survival of the Fittest Bits", en *Scientific American*, 267, julio, pp. 114-116.

RUBINSTEIN, Ariel (1986), "Finite Automata Play the Repeated Prisoner's Dilemma", en *Journal of Economic Theory*, 39, pp. 83-96.

TANESE, Reiko (1989), "Distributed Genetic Algorithms for Function Optimization", tesis de doctorado, Universidad de Michigan (Ciencia e Ingeniería en Computación).

WRIGHT, Sewall (1977), *Evolution and the Genetics of Populations*, vol. 4, *Experimental Results and Evolutionary Deductions*, Chicago, University of Chicago Press.

2. Habérselas con el ruido

El peligro de que las personas o las naciones malentiendan las acciones de las otras ha sido uno de mis intereses más persistentes. Desde la Crisis de los Misiles cubana en 1962, me ha preocupado que los errores de percepción o implementación pudieran llevar a un conflicto serio. De niño, me había impresionado mucho el cuento de hadas de un chiquillo que tropezó con dos gigantes dormidos; golpeó a uno de ellos en la cabeza; esto provocó una pelea entre los gigantes, y el chiquillo pudo aprovechar la distracción para dejarlos atrás.

Cuando establecí los torneos por computadora para el Dilema del Prisionero, tuve en cuenta la posibilidad de errores aleatorios de una manera muy simple. Lo hice informando a todos los participantes que una de las reglas del torneo sería una estrategia puramente aleatoria. Después advertí que esta forma de aleatorización no daba cuenta realmente de los problemas del posible malentendido sobre la elección hecha por el otro jugador o la posible mala implementación de la elección que uno ha querido hacer. Esto era especialmente problemático porque TOMA Y DACA es, de hecho, bastante sensible a cualquier tipo de ruido en el sistema. Por ejemplo, si dos jugadores están utilizando TOMA Y DACA y uno de ellos comete un error, el eco de este error puede continuar indefinidamente. Por otra parte, si se cometen otros errores, los dos jugadores terminan oscilando entre las cuatro combinaciones de elecciones y no consiguen nunca reestablecer un patrón sostenido de cooperación mutua (Downs y otros, 1986).

En *The Evolution of Cooperation*, sugerí dos maneras de tratar con el efecto eco. La primera era hacer de la respuesta a la deserción algo menos que la provocación. El segundo método era que el jugador que desertaba por accidente advirtiera que la respuesta del otro no tenía por qué reclamar otra deserción (Axelrod, 1984: 186-87). Estas dos ideas recibieron los nombres de generosidad y contrición.

En 1988, en la época de las aperturas muy amistosas de Gorbachov hacia Occidente, tuve una maravillosa oportunidad de ver cómo los analistas de defensa estadounidenses y soviéticos jugarían a un Dilema del Prisionero que incluía ruido. En una conferencia estadounidense-soviética sobre interdependen-

cia, invité a dos de los participantes a jugar frente a una audiencia de científicos sociales. El jugador soviético era Sergei Blagovolin, un especialista en estrategia nuclear en el Instituto de Economía Mundial y Relaciones Internacionales. La jugadora estadounidense era Catherine Kelleher, una profesora y antiguo miembro del *staff* de la Casa Blanca especializada en asuntos de seguridad internacional. Les dije que cada una de sus elecciones tendría una oportunidad sobre seis de ser mal implementada, pero que nunca sabrían si un movimiento particular realizado por el otro lado había sido la elección pensada o no. Los jugadores no sabían exactamente cuánto duraría el juego.

La estadounidense comenzó con una deserción deliberada, y desertó un total de seis veces en nueve movidas. El jugador soviético fue más cooperador, desertando solamente cuatro veces. En el debate que siguió, atribuyó la mayoría de las deserciones de la estadounidense a malas implementaciones. Cuando se le preguntó por qué, el jugador soviético dijo que esperaba que los estadounidenses fueran bastante cooperadores y que las mujeres en particular lo serían aún más. La estadounidense, por otra parte, explicó que ella había esperado que él pensara de ese modo. Así que había desertado deliberadamente, esperando de manera acertada que se la perdonase debido a una muy generosa política soviética.[1] La historia ilustra una importante moraleja: el ruido llama al perdón, pero demasiado perdón invita a la explotación (Axelrod y Dion, 1988).

No hice ningún trabajo sistemático sobre cómo lidiar con el ruido hasta que vi un artículo con el título "Una estrategia de gana-persiste y pierde-cambia que supera al toma y daca en el juego del Dilema del Prisionero" [*"A Strategy of Win-Stay, Lose-Shift That Outperform Tit-for-Tat in the Prisoner's Dilemma Game"*] (Nowak y Sigmund, 1993). El artículo reflejaba un estudio de simulación que incluía ruido y encontraba que bajo las condiciones particulares del estudio,[2] la

[1] En el juego, el soviético desertó en las movidas 2, 3, 7 y 8. La estadounidense desertó en las movidas 1, 3, 4, 5, 8 y 9. La segunda movida del soviético fue una mala implementación, y también lo fueron la sexta y novena de la estadounidense. Utilizando las recompensas estándar, esto le dio al jugador soviético quince puntos y a la estadounidense veinticinco. Si hubiesen jugado los dos al TOMA Y DACA y hubiesen sido contritos después de sus propias malas implementaciones, el jugador soviético sólo habría desertado en las movidas 2 y 7 y la jugadora estadounidense sólo en las movidas 3, 6 y 7. El puntaje habría sido de 22 y 27 respectivamente. A los dos les habría ido mejor con la contrición de lo que a cualquiera de ellos les fue con su combinación de explotación y perdón excesivo.

[2] Estas condiciones incluyen un espectro de estrategias permitidas y un modo de calcular el éxito, así como la presencia de ruido. Las estrategias permitidas basan su elección tan sólo en el resultado de la movida anterior. Las estrategias se definen en términos de las probabilidades condicionales de cooperar dados los cuatro posibles resultados de la movida anterior. Las recompensas están calculadas a partir de promedios de largo plazo sin descontar.

estrategia más exitosa es la que repite su elección previa sólo cuando alcanza una de las dos recompensas más altas, es decir, el tentador puntaje por explotar al otro jugador o el premio por la mutua cooperación. A diferencia del TOMA Y DACA, deserta después de que el otro jugador sufre una explotación, y coopera después de la mutua deserción. Mi reacción a este estudio fue sentirme un poco protector hacia el TOMA Y DACA. De manera que fue muy curioso ver cómo se desempeñaría la nueva estrategia en una versión ruidosa del entorno abigarrado de mi torneo por computadora.

Afortunadamente, un compañero del posdoctorado, Wu Jianzhong, estaba en ese momento disponible para ayudar. El Dr. Wu es un teórico de los juegos del Instituto de Automatización de Pekín que vino a trabajar conmigo en Michigan. Juntos volvimos a implementar las sesenta y tres reglas de la segunda vuelta del torneo de computadora en una Macintosh. Cuando se jugó en 1978, el torneo circular sobrepasó la capacidad de un gran servidor. En 1994, la misma cantidad de computación fue un trabajo fácil para una computadora personal. Descubrimos que añadir ya sea generosidad o contrición al TOMA Y DACA es una manera efectiva de habérselas con el ruido. La estrategia GANA-PERSISTE, PIERDE-CAMBIA no se desempeñó tan bien en este entorno abigarrado.

El código fuente y la documentación para éste y la mayoría de los otros programas utilizados en este volumen están disponibles en Internet.[3] El código fuente para este capítulo incluye todas las propuestas originales al torneo, así como las nuevas estrategias.

Después de que se publicó nuestro estudio, un nuevo trabajo teórico de Kraines y Kraines (1995) colocó la estrategia GANA-PERSISTE, PIERDE-CAMBIA en un contexto más amplio de reglas de aprendizaje. Mientras que GANA-PERSISTE, PIERDE-CAMBIA actualiza su elección basado sólo en el resultado precedente, la clase más amplia de reglas de aprendizaje llamada Pavlov tiene un parámetro para cuán rápida o lentamente adapta la regla su comportamiento probabilístico basado en las movidas recientes.[4] Kraines y Kraines señalan que la estrategia GANA-PERSISTE, PIERDE-CAMBIA se remonta al menos al clásico libro sobre el Dilema del Prisionero de Rapoport y Chammah (1965), donde se la llama Simpleton debido a sus muchas imperfecciones. El jurado todavía está indeciso sobre la custión acerca de cuán robusta podría ser cualquiera de las reglas de aprendizaje Pavlov de la clase amplia.

[3] http://pscs.physics.lsa.umich.edu/Software/ComplexCoop.html

[4] En nuestro artículo, Wu y yo utilizamos Pavlov como abreviatura de GANA-PERSISTE, PIERDE-CAMBIA.

Referencias

AXELROD, Robert (1984), *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books. [Trad. esp.: *La evolución de la cooperacón*, Madrid, Alianza, 1984.]

AXELROD, Robert y Douglas Dion (1988), "The Further Evolution of Cooperation", en *Science*, 242, 9 de diciembre, pp. 1385-1390.

DOWNS, George W., David M. Rocke y Randolph M. Siverson (1986), "Arms Races and Cooperation", en Kenneth A. Oye (comp.), *Cooperation Under Anarchy*, Princeton, Princeton University Press.

KRAINES, David y Vivian Kraines (1995), "Evolution of Learning Among Pavlov Strategies in a Competitive Environment with Noise", en *Journal of Conflict Resolution*, 39, pp. 439-466.

NOWAK, Martin y Karl Sigmund (1993), "A Strategy of Win-Stay, Lose-Shift That Outperforms Tit-for-Tat in the Prisoner's Dilemma Game", en *Nature*, 364, pp. 56-58.

RAPOPORT, Anatol y Albert W. Chammah (1965), *Prisoner's Dilemma*, Ann Arbor, University of Michigan Press.

Cómo habérselas con el ruido en el Dilema del Prisionero iterado*

Jianzhong Wu y Robert Axelrod

Resumen: *El ruido, en la forma de errores aleatorios en la implementación de una elección, es un problema común en las interacciones del mundo real. La investigación reciente ha identificado tres aproximaciones al trato con el ruido: añadir generosidad a una estrategia de reciprocidad; añadir contrición a una estrategia de reciprocidad; y utilizar una estrategia completamente diferente, la Pavlov, basada en cambiar la opción cada vez que la recompensa anterior resultó baja. Los estudios de torneo, la simulación ecológica y el análisis teórico demuestran: (1) una versión generosa del* TOMA Y DACA *es una estrategia altamente efectiva cuando los jugadores que reúne no se han adaptado al ruido; (2) si los otros jugadores se han adaptado al ruido, una versión contrita del* TOMA Y DACA *es aun más efectiva al restaurar rápidamente la cooperación mutua sin el riesgo de la explotación; (3) la Pavlov no es robusta.*

Una característica importante de las interacciones en el mundo real es que las opciones no pueden implementarse sin error. Debido a que el otro jugador no necesariamente sabe si una determinada acción es un error o una opción deliberada, un simple error puede conducir a complicaciones significativas. Por ejemplo, el 1º de septiembre de 1983, un avión de línea surcoreano voló por error sobre la Unión Soviética (Hersh, 1989). Fue derribado por los soviéticos, que mataron a los 269 pasajeros que iban a bordo. Los estadounidenses y los soviéticos descargaron mutuamente su ira en una breve pero punzante escalada de las tensiones de la Guerra Fría (Goldstein, 1991: 202).

* Reimpreso a partir de Jianzhong Wu y Robert Axelrod, "How to Cope with Noise in the Iterated Prisoner's Dilemma", *Journal of Conflict Resolution*, 39, nº 1, marzo de 1995, pp. 183-189. Reimpreso con autorización de Sage Publications, Inc.

Los efectos de errores han sido tratados bajo la rúbrica de "ruido". Cuál es la mejor manera de habérselas con el ruido se ha convertido en una pregunta vital de investigación en la teoría de los juegos, especialmente en el contexto del Dilema del Prisionero iterado.[1] Claramente, cuando se introduce ruido, ocurrirán algunas deserciones no buscadas. Esto puede socavar la efectividad de estrategias recíprocas simples. Por ejemplo, Molander (1985) ha mostrado que en presencia de una cantidad cualquiera de ruido, dos jugadores de TOMA Y DACA (TYD) promediarán a largo plazo las mismas recompensas que dos jugadores que interactuaran de manera ALEATORIA.

Se propusieron tres aproximaciones diferentes al tratamiento del ruido.

1. *Generosidad.* Dado que permite que cierto porcentaje de las deserciones del otro jugador queden impunes se la ha defendido ampliamente como una buena manera de habérselas con el ruido (Molander, 1985; May, 1987; Axelrod y Dion, 1988; Bendor y otros, 1991; Godfray, 1992; Nowak y Sigmund, 1992). Por ejemplo, una versión generosa de TYD, llamada TYDG, coopera un 10% de las veces que de otro modo desertaría. Esto impide que un simple error repercuta indefinidamente.
2. *Contrición.* Una estrategia de reciprocidad como la TYD puede ser modificada para evitar responder a la deserción del otro jugador después de la propia deserción indeseada. Esto habilita una manera rápida de recuperarse del error. Se basa en la idea de que uno no debería ser provocado por la respuesta del otro jugador a la propia deserción indeseada (Sugden, 1986: 110; Boyd, 1989). La estrategia llamada TYD Contrita (TYDC) tiene tres estados: "contrito", "contento" y "provocado". Comienza en el estado de contento con la cooperación y permanece así a menos que haya una deserción unilateral. Si fue la víctima mientras se hallaba en contento, se torna provocado y deserta hasta que una cooperación de parte del otro jugador lo haga tornar contento. Si fue el desertor cuando estaba en estado de contento, se vuelve contrito y coopera. Si está contrito, se vuelve contento sólo después de haber cooperado exitosamente.
3. *Gana-Persiste, Pierde-Cambia.* Puede usarse una estrategia completamente diferente, basada en el principio de que si la recompensa más reciente fuese alta, se repetirá la misma elección, pero en caso contrario la elección será

[1] Ejemplos de estudios teóricos y de simulación recientes del Dilema del Prisionero con ruido y los juegos relacionados con él son los de Bendor y otros (1991), Bendor (1993), Boyd (1989), Fudenberg y Maskin (1990), Godfray (1992), Kollock (1993), Lindgren (1991), Nowak y Sigmund (1992, 1993), y Young y Foster (1991). Para una reseña de trabajos anteriores, véase Axelrod y Dion (1988).

cambiada. Esta estrategia surgió de un proceso evolutivo simulado que incluía ruido, pero admitía estrategias con memoria únicamente de la movida precedente (Nowak y Sigmund, 1993). Llamada Pavlov, coopera a menos que en la movida previa se haya sido un bobo (es decir, cooperó pero el otro desertó) o que el otro jugador haya sido un bobo.

Por razones de exhaustividad, también analizamos una cuarta estrategia, una versión generosa de la Pavlov, llamada Gpavlov. Esta estrategia actúa como la Pavlov, pero coopera en un 10% de las veces en que de lo contrario desertaría.

El torneo con ruido

La base para nuestro análisis es el entorno de las sesenta y tres reglas de la segunda vuelta del torneo por computadora para el Dilema del Prisionero (Axelrod, 1984). Estas estrategias proporcionan un entorno heterogéneo que incorpora una amplia variedad de ideas destinadas a funcionar bien en el juego del Dilema del Prisionero. Las longitudes de las interacciones varían, pero promedian los 151 movimientos. A este entorno le añadimos un ruido de 1%, lo que significa que por cada opción elegida hay una oportunidad de un 1% de que la opción opuesta sea realmente implementada. Aunque estas reglas fueron diseñadas sin tomar en cuenta el ruido, de todos modos pueden utilizarse para proporcionar una configuración útil para evaluar cómo pasarán las nuevas estrategias por un entorno ruidoso heterogéneo.

El puntaje promedio de cada nueva regla al ser combinada con las sesenta y tres reglas del entorno del torneo muestra cuán bien o cuán pobremente funciona cada una de ellas en un entorno ruidoso.[2] El puntaje más alto fue alcanzado por la TYDG, que realmente funciona mejor que cualquiera de las sesenta y tres reglas propuestas. La TYDC también funciona muy bien; fue superada sólo por cinco de las sesenta y tres reglas. La Pavlov funciona pobremente; se colocó por debajo de cincuenta y tres de las sesenta y tres reglas. Añadir generosidad a la Pavlov sólo ayuda un poco: Gpavlov se coloca por debajo de cuarenta y ocho de las sesenta y tres reglas.

Para investigar los efectos de diferentes niveles de ruido, se añadieron las cuatro reglas nuevas a las sesenta y tres reglas originales, y el torneo expandido se llevó a cabo con diversos niveles de ruido desde el 0,1% hasta el 10%. La

[2] Para asegurar la estabilidad de estos resultados, los puntajes están promediados sobre un total de veinte repeticiones del torneo completo.

figura 2.1 muestra los puntajes de las cuatro nuevas reglas en función del nivel de ruido. Los resultados muestran que en todos los niveles de ruido, TYDG y TYDC funcionan bien, mientras que Pavlov y Gpavlov no. En los niveles más bajos, TYDG es un poco mejor que TYDC, pero cuando el ruido es mayor del 1%, TYDC es ligeramente mejor.

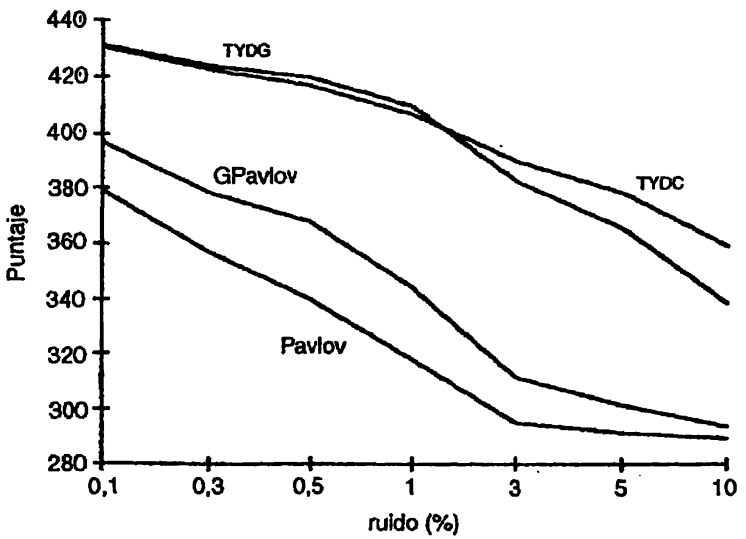

FIGURA 2.1. *Desempeño en función del ruido*

Una simulación ecológica

Una prueba más poderosa es tomar en cuenta que, en el tiempo, es menos probable que sean utilizadas otra vez en el entorno ruidoso las reglas que no son exitosas mientras que es probable que lo sean las relativamente exitosas. Una buena manera de hacer esto es con un análisis ecológico (Axelrod, 1984: 48 y ss.). En un análisis ecológico, la fracción de la población representada por una determinada regla en la siguiente "generación" del torneo será proporcional al puntaje de torneo de esa regla en la generación anterior. Cuando este proceso se repite a lo largo de muchas generaciones, la proporción de las diversas reglas cambia, y el entorno enfrentado por cada regla tiende a enfatizar aquellas reglas que han funcionado relativamente bien en la configuración ruidosa. La simulación ecológica muestra lo que sucede cuando las reglas que son ineficaces para tratar con el ruido se tornan una parte más pequeña de la población, y aquellas que son eficaces se tornan una proporción mayor de la población.

El proceso comienza con proporciones iguales de las sesenta y siete reglas: las sesenta y tres reglas originales y las cuatro nuevas. El nivel de ruido se establece en el 1%. La proporción de cada regla es actualizada para 2.000 generaciones. La figura 2.2 muestra el desempeño en el tiempo de las seis reglas que funcionaron mejor al final de este proceso. R8, la regla que se posicionó octava en el torneo original, funcionó bastante bien a lo largo de los primeros cientos de generaciones, pero luego declinó lentamente a medida que el proceso continuó dejando a un lado reglas que funcionaban pobremente en el entorno ruidoso. Hacia la generación 1.000, TYDC era líder. Continuó creciendo, y llegó finalmente al 97% de la población en la generación 2.000. TYDG tuvo algún éxito inicial, pero luego se desvaneció. Ambas versiones de la Pavlov declinaron a menos de una millonésima parte ya en la centésima generación. El claro ganador en esta simulación ecológica con ruido fue TYDC.

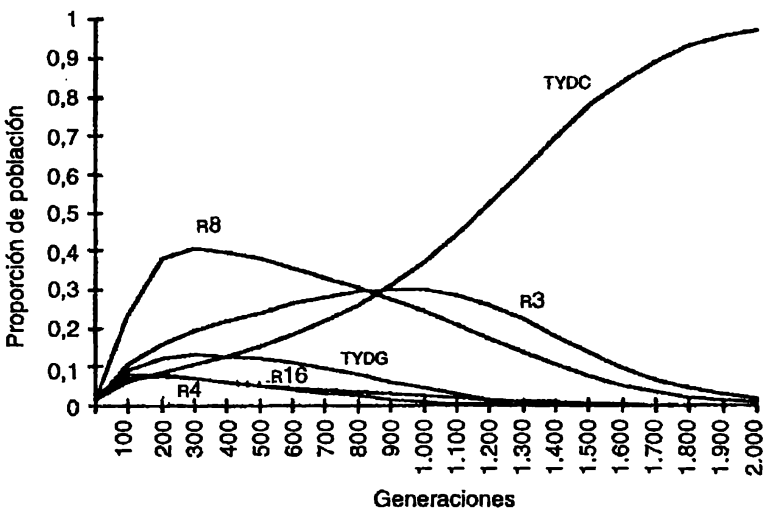

FIGURA 2.2. *Simulación ecológica*

Nota: Las estrategias son las sesenta y tres reglas originales más TYDG, TYDC, Pavlov y Gpavlov. R3 es la regla que salió tercera en el torneo original, R4 es la regla que salió cuarta, etc. Los resultados se muestran para las seis mejores reglas en la generación 2.000. El nivel de ruido es de 1%.

Análisis estratégico

Tanto Pavlov como la versión contrita de TOMA Y DACA tienen la deseable propiedad de que cuando juegan con su par pueden recuperarse rápidamente de

un error aislado. Si uno de dos jugadores de Pavlov deserta debido a un error aislado, ambos desertarán en la siguiente movida, y luego ambos cooperarán en la que le sigue. Si uno de dos jugadores de TYDC deserta, el jugador desertor cooperará contritamente en la siguiente movida y el otro jugador desertará, y luego ambos estarán contentos de cooperar en la siguiente movida. Desafortunadamente para un jugador que utiliza Pavlov, su voluntad de cooperar después de una deserción mutua puede darle al otro jugador un incentivo para desertar simplemente todo el tiempo.[3] Tanto el torneo como el análisis ecológico muestran que aunque Pavlov puede funcionar bien con su propio par, su éxito no es robusto.

La generosidad es efectiva para detener el eco continuo de un único error, ya sea que el error haya sido propio o del otro jugador. El nivel de generosidad determina cuán rápidamente puede ser corregido un error y restaurada la cooperación. El problema es que la generosidad requiere una negociación entre la velocidad de corrección del error y el riesgo de explotación (Axelrod y Dion, 1988).

La contrición es efectiva para corregir el propio error, pero no el error del otro jugador. Por ejemplo, si TYDC está jugando TYD y el jugador de TYD deserta por accidente, el eco continuará hasta que ocurra otro error. Por ende, en el entorno original de sesenta y tres reglas que no estaban diseñadas para tratar con el ruido, la contrición fue ligeramente menos efectiva que la generosidad cuando el ruido era del 1% o menos. Por otra parte, la simulación ecológica mostró que la contrición es muy efectiva a medida que el entorno va siendo dominado por reglas que son exitosas en el entorno ruidoso. A medida que la población se adapta al ruido, la contrición se hace más y más efectiva. En una población adaptada al ruido, corregir los propios errores es suficiente porque es probable que los jugadores que uno encuentra también sean buenos para corregir sus propios errores.

Conclusión

En presencia de ruido, la reciprocidad sigue funcionando, siempre y cuando sea acompañada ya sea por generosidad (alguna oportunidad de cooperar cuando de otro modo uno desertaría) o por contrición (cooperar después de que el otro

[3] Rinde desertar siempre jugando con Pavlov en bajos niveles de ruido si alternar T y P es mejor que alcanzar siempre R. En la notación clásica, esto es verdad si $T + wP > R + wR$ ó $w < (T - R) / (R - P)$. Así, con las recompensas corrientes de $T = 5$, $R = 3$, $P = 1$, $B = 0$, y cualquier $w < 1$, rinde desertar siempre cuando se juega con Pavlov.

jugador deserta en respuesta a la propia deserción). La Pavlov, una estrategia basada en cambiar la propia opción después de un resultado pobre, no es robusta.

La generosidad puede corregir un error de cualquiera de los jugadores, pero la contrición sólo puede corregir el propio error. Por lo tanto, cuando la población de estrategias que es probable que uno encuentre no se ha adaptado a la presencia de ruido, es probable que una estrategia como la TOMA Y DACA Generosa sea efectiva. Por otra parte, si las estrategias de los otros jugadores que es probable que uno encuentre ya se han adaptado al ruido, entonces una estrategia como la TOMA Y DACA Contrita puede ser aun más efectiva porque puede corregir sus propios errores y restaurar la mutua cooperación casi inmediatamente.

Referencias

AXELROD, R. (1984), *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books. [Trad. esp.: *La evolución de la cooperación*, Madrid, Alianza, 1984.]

AXELROD, R., y D. Dion (1988), "The Further Evolution of Cooperation", en *Science*, 242, pp. 1385-1390.

BENDOR, J. (1993), "Uncertainity and the Evolution of Cooperation", en *Journal of Conflict Resolution*, 37, pp. 709-734.

BENDOR, J., R. M. Kramer y S. Stout (1991), "When in Doubt: Cooperation in a Noisy Prisoner's Dilemma", en *Journal of Conflict Resolution*, 35, pp. 691-719.

BOYD, R. (1989), "Mistakes Allow Evolutionary Stability in the Repeated Prisoner's Dilemma", en *Journal of Theoretical Biology*, 136, pp. 47-56.

FUDENBERG, D., y E. Maskin (1990), "Evolution and Cooperation in Noisy Repeated Games", en *American Economic Review*, 80, pp. 274-279.

GODFRAY, H. C. J. (1992), "Reciprocity in Superpower Relations: An Empirical Analysis", en *International Studies Quarterly*, 35, pp. 195-209.

HERSH, Seymour M. (1986), *The Target is Destroyed*, Nueva York, Random House.

KOLLOCK, P. (1993), "An Eye for an Eye Leaves Everyone Blind: Cooperation and Accounting Systems", en *American Sociological Review*, 58, pp. 768-786.

LINDGREN, K. (1991), "Evolutionary Phenomena in Simple Dynamics", en C. Langton y otros, *Artificial Life II: Proceedings of the Wirkshop on Artificial Life*, 295-312, Redwood City, Addison-Wesley.

MAY, R. M. (1987), "More Evolution of Cooperation", en *Nature*, 327, pp. 15-17.

MILINSKI, M. (1993), "Cooperation Wins and Stays", en *Nature*, 364, pp. 12-13.

MOLANDER, P. (1985), "The Optimal Level of Generosity in a Selfish, Uncertain Environment", en *Journal of Conflict Resolution*, 29, pp. 611-618.

NOWAK, M. y K. Sigmund (1992), "Tit for Tat in Heterogeneous Populations", en *Nature*, 355, pp. 250-253.

—— (1993), "A Strategy of Win-Stay, Lose Shift That Outperforms Tit-for-Tat in the Prisoner's Dilemma Game", en *Nature*, 364, pp. 56-58.

SUGDEN, R. (1986), *The Economics of Rights, Co-operation, and Welfare*, Oxford, Basil Blackwell.

YOUNG, H. P. y D. Foster (1991), "Cooperation in the Short and in the Long Run", en *Games and Economic Behavior*, 3, pp. 145-156.

3. Promoción de normas

Mi persistente interés en las normas fue estimulado por una anécdota que incluí en *The Evolution of Cooperation* (Axelrod, 1984: 84-85). Fue una de las muchas historias de la trinchera en la Primera Guerra Mundial en la que los dos lados mostraron una moderación basada en la reciprocidad que llamaban "el sistema vivir y dejar vivir". Pero este episodio en particular fue más lejos que la mayoría. Exhibió un componente ético emergente. Ésta es la historia tal como la cuenta un oficial británico que recuerda su experiencia al enfrentar a una unidad sajona del ejército alemán:

> Yo estaba tomando el té con la Compañía A cuando escuchamos gran cantidad de gritos y salimos a investigar. Encontramos a nuestros hombres y a los alemanes de pie en sus respectivos parapetos. Repentinamente llegó una salva, pero no causó ningún daño. Naturalmente ambos lados se pusieron a cubierto y nuestros hombres comenzaron a maldecir a los alemanes, cuando de pronto un valiente alemán se trepó a su parapeto y gritó: "Lo sentimos mucho; esperamos que nadie esté herido. No es nuestra culpa. Es esa maldita artillería prusiana" (Rutter 1934, 29).

La disculpa de los sajones va mucho más allá de un esfuerzo meramente instrumental para prevenir represalias. Refleja un arrepentimiento moral por haber violado una situación de confianza, y muestra preocupación porque alguien pueda haber resultado herido. Mi teoría de la cooperación basada en el Dilema del Prisionero bipersonal e iterado ayudó a explicar la moderación a partir del interés egoísta de los soldados de cada lado. Sin embargo, me preocupaba que la teoría no explicara la dimensión moral que estaba claramente presente en este ejemplo y que probablemente era de mucha importancia para el desarrollo y mantenimiento de las normas.

Mi interés en las normas como una ayuda posible para la cooperación internacional también se vio intensificado por mi participación en un amplio proyecto de investigación guiado por Kenneth Oye. El proyecto incluyó estudios históricos del modo como la cooperación emerge en el contexto de la anarquía

internacional (Oye, 1986). Buscando herramientas comunes en el dominio de la economía política internacional y la seguridad internacional, a Robert Keohane y a mí nos impactó la importancia de las normas para explicar cuándo la cooperación triunfaba y cuándo fracasaba. También quedamos impresionados con el papel de las instituciones internacionales en el desarrollo de entendimientos compartidos de lo que realmente cuenta como adhesión a normas internacionales de conducta (Axelrod y Keohane, 1986).

También tuve un sostenido interés en otra aproximación a las normas, a saber: la emergencia de las normas como soluciones a dilemas de la acción colectiva, como la polución y el abuso de recursos comunes. Una manera obvia de dar forma a esos dilemas fue extender el Dilema del Prisionero bipersonal a un Dilema del Prisionero *n*–personal. Esto proporcionaría un buen modelo de problemas, tales como el sobrepastoreo de tierras comunes o la polución excesiva del aire. En estas situaciones, todos tienen un incentivo para ser egoístas. Por otra parte, si todo el mundo fuera egoísta, todos estarían en peores condiciones de lo que habrían estado si hubiesen tomado la opción cooperativa. El problema era que el consejo político basado en la reciprocidad que funciona tan bien en el Dilema del Prisionero bipersonal simplemente no funciona en la versión *n*-personal del juego cuando hay más de un puñado de personas involucradas. Esta dificultad ha sido muy bien documentada tanto en la teoría como en la práctica (Olson, 1965; Hardin, 1968; Schelling, 1973).

Mi interpretación de por qué el Dilema del Prisionero *n*-personal no puede resolverse con la simple reciprocidad fue que no había manera de que los jugadores cooperantes enfocaran el castigo en un jugador desertor. Dada esta interpretación, pensé que sería interesante explorar un nuevo juego *n*-personal en el que los jugadores tuviesen la opción adicional de castigar precisamente a aquellos que no cooperaran. Para evitar que el problema se volviera trivial, supuse además que la detección del "engaño" no fuese automática, y que el castigo fuese costoso tanto para aquel que lo ponía en práctica como para el blanco. Mi esperanza era que el análisis de este juego conduciría a una comprensión más profunda de cómo y cuándo emergen las normas de comportamiento.

Al emprender un análisis de este juego de normas, decidí no utilizar el supuesto de racionalidad que es corriente en la teoría de los juegos. Los ejemplos empíricos de normas cambiantes me sugirió que cuando la gente realiza opciones en situaciones complejas, es más probable que utilicen una aproximación de ensayo y error en lugar de un cálculo totalmente racional. Afortunadamente, yo tenía una herramienta efectiva para el estudio del aprendizaje por ensayo y error en una situación estratégica. Todo lo que tenía que hacer era adaptar el algoritmo genético que había usado para el Dilema del Prisionero bipersonal a este nuevo juego (véase el capítulo 1).

Los resultados para el juego de las normas demostraron que necesitaba otro mecanismo a fin de que las normas emergieran y resultaran estables. Apodé a este mecanismo adicional "metanormas". Una metanorma se basa en la voluntad de castigar no sólo a aquellos que violan las normas, sino a todo aquel que omite castigar a los violadores. Aunque éste fue un resultado estratégico satisfactorio, también sentí la necesidad de considerar el espectro completo de los mecanismos que sirven para sustentar una norma que está parcialmente establecida. Entre estos mecanismos menos formales se cuenta la internalización de valores exhibida en el ejemplo de la trinchera. Mientras preparaba este ensayo, me complació observar que la aproximación evolutiva a las normas podría abordar un espectro amplio de problemas, desde la abolición de la esclavitud y los duelos hasta las reputaciones comerciales y la proliferación de armas nucleares.

Aunque no todo mi trabajo ha sido bien recibido (véase las introducciones a los capítulos 5 y 7, por ejemplo), este ensayo sobre las normas sí lo fue. Una versión anterior fue seleccionada como el mejor trabajo en el encuentro anual de la American Political Science Association. La versión publicada fue citada junto con mi trabajo anterior sobre el Dilema del Prisionero cuando recibí la beca de cinco años del MacArthur Prize Fellowship. Y se me pidió que lo adaptara a un público general (Axelrod, 1987). Pienso que este trabajo sobre las normas recibió una buena recepción porque abordé una necesidad ampliamente compartida de encontrar una base para la cooperación en situaciones que involucran a muchas personas, en lugar de sólo a dos.

Desde entonces, me he preguntado si el repentino colapso del comunismo en Europa del Este y en la antigua Unión Soviética podría ser visto en términos de la evolución de las normas. El análisis de estos acontecimientos por Timur Kuran (1995) sugería que un factor clave era una disminución en la expectativa de que la protesta sería sofocada. Ésta es una interpretación interesante, que es similar al trabajo previo de Mark Granovetter (1978) sobre el desencadenamiento de procesos en el comportamiento colectivo tales como los motines. En ambas teorías, los individuos están dispuestos a actuar si muchos de los demás actúan primero. Bajo ciertas circunstancias, un leve cambio en la voluntad de unas pocas personas para actuar primero puede hacer rodar la bola. Tal vez esto trabajos ayuden a iluminar por qué el comportamiento colectivo a veces evoluciona gradualmente y otras veces sufren un vuelco repentino.

Cuando doy charlas sobre la evolución de las normas, a menudo enfatizo la emergencia de normas a escala global, como las normas contra el colonialismo, la discriminación racial y la tortura. Ha sido un desafío para mí la pregunta de si es probable que sociedades diferentes se resistan a la imposición de normas que consideran foráneas. Por ejemplo, ¿no se resistirán las sociedades que prac-

tican la mutilación genital femenina a los esfuerzos occidentales por eliminar esa práctica? Mi respuesta es relativamente optimista. Espero que a medida que los hechos reciban una amplia difusión, la práctica llegue a ser tan aborrecible en Occidente que la presión llegará a incidir. Después de todo, cuando Utah se propuso confederarse en la Unión como un estado, los mormones descubrieron que la poligamia no era necesaria. De manera similar, cuando los gobiernos adviertan que se están arriesgando al ostracismo político y económico, podrían descubrir que la mutilación genital femenina no tiene por qué ser tolerada. Puede tomar una década o dos, pero sospecho que una norma global contra la mutilación genital femenina le pondrá freno.

Aunque la uniformidad cultural no es por cierto un valor en sí misma, a mí me parece que la propagación de normas globales ha sido en general un proceso progresista. Si el colonialismo, los duelos y la esclavitud han sido virtualmente eliminados, tal vez les llegue el turno a otras formas de violencia y ataques a la dignidad humana.

Referencias

AXELROD, Robert (1984), *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books. [Trad. esp.: *La evolución de la cooperación*, Madrid, Alianza, 1984.]

—— (1987), "Laws of Life: How Standards of Behavior Evolve", en *The Sciences*, 27, marzo/abril, pp. 44-51.

AXELROD, Robert y Robert Keohane (1986), "Achieving Cooperation Under Anarchy", en Kenneth Oye (comp.), *Cooperation Under Anarchy*, 226-254, Princeton University Press.

GRANOVETTER, Mark (1978), "Threshold Models of Collective Behavior", en *American Jornal of Sociology*, 83, pp. 1420-1443.

HARDIN, Garrett (1968), "The Tragedy of the Commons", en *Science*, 162, pp. 1243-1248.

KURAN, Timur (1995), *Private Truths, Public Lies*, Cambridge, Harvard University Press.

OLSON, Mancur, Jr. (1965), *The Logic of Collective Action*, Cambridge, Harvard University Press.

OYE, Kenneth (comp.) (1986), *Cooperation Under Anarchy*, Princeton, Princeton University Press (los ensayos de este libro aparecieron originalmente en el número de octubre de 1985 de *World Politics).*

RUTTER, Owen (comp.) (1934), *The History of Seventh (Services) Vattalion, The Royal Sussex Regiment 1914-1919*, Londres, Times Publishing Company.

SCHELLING, Thomas (1973), "Hockey Helmets, Concealed Weapons, and Daylight Saving: A Study of Binary Choices with Externalities", en *Journal of Conflict Resolution*, 17, pp. 381-428.

PROMOCIÓN DE NORMAS

Una aproximación evolucionista a las normas*

Robert Axelrod[1]

Resumen: *Las normas proporcionan un mecanismo poderoso para regular el conflicto en los grupos, incluso cuando hay más de dos personas y ninguna autoridad central. Este ensayo investiga la emergencia y la estabilidad de normas de comportamiento en el contexto de un juego jugado por personas de racionalidad limitada. La dinámica de este nuevo juego de normas se analiza con una simulación por computadora basada en el principio evolutivo de que las estrategias que mostraron ser relativamente efectivas serán más utilizadas en el futuro que las estrategias menos efectivas. Los resultados muestran las condiciones bajo las cuales las normas pueden desarrollarse y resultar estables. Una posibilidad interesante es el empleo de metanormas, la voluntad de castigar a alguien que no puso en práctica una norma. Muchos ejemplos históricos de normas domésticas e internacionales son utilizados para ilustrar la amplia variedad de mecanismos que pueden sustentar las normas, incluyendo las metanormas, el predominio, la internalización, la disuasión, la demostración social, la membresía en los grupos, la ley y la reputación.*

Una norma establecida puede tener un poder tremendo. Esto es ilustrado por un ejemplo histórico de la norma del duelo. En 1804, Aaron Burr desafió a Alexander Hamilton a un duelo. La noche anterior al día en que el duelo tendría lugar, Hamilton se sentó a escribir sus pensamientos. Dio cinco razones en

* Reimpreso bajo autorización a partir de Robert Axelrod, "An Evolutionary Approach to Norms", en *American Political Science Review*, 80, nº 4, diciembre de 1986, pp. 1095-1111.

[1] Debo mucho a Stephanie Forrest, mi asistente de investigación, y a quienes me ayudaron a pensar sobre las normas: Michael Cohen, Jeffrey Coleman, John Ferejohn, Morris Fiorina, Robert Gilpin, Donald Herzog, John Holland, Malanie Manion, Ann McGuire, Robert Keohane, Robert McCalla, Amy Saldinger, Lynn Sanders, Kim Scheppele, Andrew Sobel, Charles Stein, Laura Stoker y David Yoon. Me complace agradecer también a aquellos que contribuyeron a sustentar diversos aspectos de este trabajo: La Fundación Harry Frank Guggenheim, la National Science Foundation, la Sloan Foundation y el Michigan Memorial Phoenix Project.

contra de aceptar el duelo: sus principios estaban en contra de derramar sangre en un combate privado prohibido por la ley; tenía mujer e hijos; tenía un sentimiento de obligación hacia sus acreedores; no le guardaba ningún rencor al coronel Burr; y arriesgaría mucho y podría ganar muy poco. Además, era renuente a sentar un mal ejemplo aceptando un duelo. Sin embargo, aceptó, porque "la capacidad de ser útil, ya sea resistiéndose al perjuicio o produciendo el bien, en aquellas crisis de nuestros asuntos públicos que parece probable que ocurran, quizá sea inseparable de una conformidad con el prejuicio público sobre este particular" (Truman, 1884: 345-348). En otras palabras, la perspectiva de sanciones impuesta por el público en general en defensa del duelo hicieron que Hamilton arriesgara, y finalmente perdiera, su vida; una norma poderosa, en efecto, y que todavía hoy ha hecho todo menos desaparecer después de siglos de poder sobre la vida y la muerte.

Hoy, las normas siguen gobernando gran parte de nuestras vidas sociales y políticas. En política, los derechos civiles y las libertades civiles están tan protegidos por normas informales sobre lo que es aceptable como lo están por los poderes del sistema legal formal. El liderazgo mismo está sujeto al poder de las normas, como aprendió Nixon cuando violó normas políticas tratando de cubrir Watergate. El funcionamiento del Congreso está conformado por muchas normas, incluyendo las que gobiernan la reciprocidad (Matthews, 1960) y el aprendizaje (Krehbiel, 1985). En muchas naciones, la tolerancia a la oposición es una norma frágil que tiene un gran impacto en la posibilidad de que una democracia sobreviva en un país determinado (Almod y Verba, 1963; Dahl, 1966). En la economía política internacional, las normas son esenciales para la comprensión de las operaciones de muchos dominios funcionales como la banca, el petróleo y la ayuda extanjera (Axelrod y Keohane, 1985; Keohane, 1984; Krasner 1983). Incluso en el dominio de la política del poder, las normas virtualmente han eliminado el colonialismo, inhibieron el uso de armas químicas y retardaron la diseminación de las armas nucleares.

Las normas no sólo son importantes para muchas cuestiones centrales en las ciencias políticas, sino que también son vitales para las otras ciencias sociales. La sociología intenta comprender cómo funcionan diferentes sociedades, y las normas son claramente importantes en estos procesos (por ejemplo, Opp, 1979 y 1983). La antropología trata con frecuencia con las características únicas de diversos pueblos describiendo en gran detalle sus prácticas y valores, como en el caso de la enemistad entre grupos (por ejemplo, Black-Michaud, 1975). Los psicólogos se ocupan de la manera como las personas influyen unas sobre otras y de cómo un individuo llega a socializarse en una comunidad (por ejemplo, Darley y Batson, 1973; Sherif,1936). Los economistas se están interesando en

el origen y la operación de normas en la medida en que han llegado a advertir que los mercados implican una gran cantidad de comportamiento basado en estándares que ningún individuo puede determinar por sí solo (por ejemplo, Furubotn y Pejovich, 1974; Schotter, 1981).

Un gran número de individuos e, incluso, de naciones exhiben a menudo un alto grado de comportamiento coordinado que sirve para regular el conflicto. Cuando este comportamiento coordinado tiene lugar sin la intervención de una autoridad central que vigile el comportamiento, tendemos a atribuir el comportamiento coordinado y la regulación resultante del conflicto a la existencia de normas. Para hacer de esta apelación a las normas una explicación útil, necesitamos una buena teoría de las normas. Dicha teoría ayudaría a explicar tres cosas: cómo surgen las normas, cómo se mantienen las normas, y cómo una norma desplaza a otra.

Una de las características más importantes de las normas es que su permanencia puede cambiar en un tiempo sorprendentemente corto. Por ejemplo, después de muchos siglos de colonialismo, la intolerancia a la dependencia colonial se afirmó en el período relativamente corto de tan sólo dos décadas, después de la Segunda Guerra Mundial. Antes y después de esa transición, el estado de las cosas parece muy estable y tal vez, incluso, permanente. Por esta razón, la consciencia de una determinada norma es más intensa precisamente cuando está siendo desafiada. Los ejemplos de normas que hoy en día están siendo desafiadas incluyen el derecho a fumar en público sin pedir permiso, el uso de lenguaje sexista y la prohibición del uso de armas químicas. Algunos de estos desafíos tendrán éxito en establecer nuevas normas, y algunos fracasarán por completo. Por ende, lo que se necesita es una teoría que explique no solamente las normas que existen en un determinado momento, sino también cómo cambian las normas a través del tiempo. Para clarificar estos procesos, uno debe ser claro acerca de qué es lo que se discute exactamente.

En la próxima sección se explica la aproximación evolutiva que ha de ser utilizada en este ensayo. A continuación se presentan los resultados de la simulación por computadora de la evolución de normas. Luego las simulaciones por computadora se extienden para incluir un mecanismo específico para la aplicación de las normas, llamado *metanormas*. Después de investigar estos modelos formales, se discute una amplia variedad de procesos que podrían contribuir a sustentar las normas, junto con sugerencias acerca de cómo podrían ser modelados ellos también. Se considera la cuestión del origen y el contenido de las normas y, finalmente, un resumen y conclusión presenta los hallazgos de este trabajo en el contexto amplio del cambio social y político.

La aproximación evolutiva

Las normas se han definido de diversas maneras en las diferentes literaturas e, incluso, dentro de una misma literatura. Los tres tipos más comunes de definiciones se basan en las expectativas, los valores y el comportamiento. Que estas diferentes definiciones se usen para el mismo concepto refleja cuán estrechamente ligados están las expectativas, los valores y el comportamiento. Las definiciones basadas en las expectativas o los valores son favorecidas por aquellos que estudian las normas tal como existen en una situación social determinada. Esas definiciones son convenientes porque las entrevistas pueden sacar a la luz las creencias y los valores de los participantes, mientras que observar sistemáticamente su comportamiento real es más difícil. Puesto que para muchos propósitos lo más importante es el comportamiento real, en este estudio se utilizará una definición basada en el comportamiento.

DEFINICIÓN: *Una* norma *existe en una determinada situación social en la medida en que los individuos actúan usualmente de una cierta manera y frecuentemente son castigados cuando se ve que no actúan de esa manera.*

Esta definición hace de la existencia de una norma una cuestión de grado, antes que una proposición de todo o nada, lo que le permite a uno hablar del ascenso o la declinación de una norma. De acuerdo con esta definición, la medida en la cual un determinado tipo de acción es una norma depende de cuán frecuentemente es asumida y cuán frecuentemente alguien es castigado por no asumirla.

Para investigar el ascenso y caída de las normas, he formulado un juego de normas en el que los jugadores pueden elegir desertar o castigar a aquellos a quienes han visto desertar. La meta de la investigación es ver cuándo se desarrollará la cooperación basada en normas emergentes. En última instancia, el propósito es descubrir qué condiciones favorecen el desarrollo de normas de modo tal que pueda promoverse la cooperación allí donde de otro modo podría no existir o no ser segura.

Para ver lo que harían actores racionales en una situación particular, puede usarse el enfoque de la teoría de los juegos. La teoría de los juegos supone que los jugadores son totalmente racionales y eligen la estrategia que brinda la más alta utilidad esperada al cabo del tiempo, dadas sus expectativas acerca de lo que harán los otros jugadores. Recientes trabajos realizados por economistas han mostrado una gran sofisticación en el trato con los problemas de definir amenazas creíbles y de mostrar las consecuencias de exigir que las expectativas de los actores acerca de los otros sean coherentes con la experiencia que será generada

por las acciones resultantes (Abreu y otros, 1985; Friedman, 1971; Kreps y Wilson, 1982; Selten, 1975).

Aunque las deducciones acerca de lo que los actores totalmente racionales harán son valiosas en sí mismas, los ejemplos empíricos de normas cambiantes sugieren que es más probable que las personas reales empleen un comportamiento de ensayo y error antes que cálculos detallados basados en creencias precisas acerca del futuro. Por lo tanto, he elegido no estudiar la dinámica de las normas utilizando una aproximación que dependa del supuesto de racionalidad.

En cambio, utilizo una aproximación evolutiva. Esta aproximación se basa en el principio de que aquello que funciona bien para un jugador tiene más probabilidades de ser utilizado otra vez, mientras que aquello que da un pobre resultado tiene más probabilidades de ser descartado (Axelrod, 1984). Como en la teoría de los juegos, los jugadores utilizan sus estrategias con cada uno de los otros para alcanzar un rédito basado en su propia elección y en las elecciones de los otros. En una aproximación evolutiva, no obstante, no hay necesidad de suponer un cálculo racional para identificar la mejor estrategia. En lugar de ello, el análisis de lo que se ha elegido en un momento específico se basa en la operativización de la idea de que las estrategias efectivas tienen más probabilidades de ser mantenidas que las estrategias ineficaces. Además, la aproximación evolutiva permite la introducción de nuevas estrategias como ocasionales mutaciones aleatorias de las viejas estrategias.

Puede pensarse el principio evolutivo en sí como la consecuencia de uno cualquiera entre tres mecanismos diferentes. Puede ser que los individuos más efectivos tengan más probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Esto es así en los sistemas biológicos y en algunos sistemas económicos y políticos. Una segunda interpretación es que los jugadores aprenden por ensayo y error, manteniendo las estrategias efectivas y alterando aquellas que tienen resultados pobres. Una tercera interpretación, y la que mejor concuerda con el estudio de las normas, es que los jugadores se observan unos a otros, y aquellos con desempeños pobres tienden a imitar las estrategias de aquellos a quienes ven que les va mejor. En cualquier caso, no es necesario suponer que el individuo es racional y comprende todas las implicancias estratégicas de la situación.

La aproximación evolutiva es intrínsecamente probabilística e involucra efectos no lineales. Por estas razones, a menudo es imposible utilizar la matemática deductiva para determinar las consecuencias de un modelo dado. Afortunadamente, las técnicas de simulación por computadora (por ejemplo, Cyert y March, 1963) proporcionan una alternativa rigurosa a la matemática deductiva. Además, la simulación puede revelar la dinámica de un proceso, así como los puntos de equilibrio. Al simular las opciones de cada miembro de una población de

jugadores y al ver cómo cambian las estrategias de los jugadores en el tiempo, el despliegue de un determinado proceso evolutivo puede analizarse para determinar sus implicancias generales.

El juego de normas

El juego de normas se describe en la figura 3.1. Comienza cuando un individuo *(i)* tiene una oportunidad de desertar, por ejemplo, haciendo trampa en un examen. Esa oportunidad va acompañada por una posibilidad conocida de ser observado. La posibilidad de ser *observado,* o visto, se denomina *O.* Si *O* es 0,5, cada uno de los otros jugadores tiene una posibilidad idéntica de observar una deserción en caso de que tenga lugar. Si el jugador *i* deserta, él o ella obtiene un rédito de *T* (la *tentación* de desertar) igual a 3, y cada uno de los otros es *herido* (*H*) levemente, obteniendo un rédito de *H* igual a –1. Si el jugador no deserta, ninguno obtiene nada.

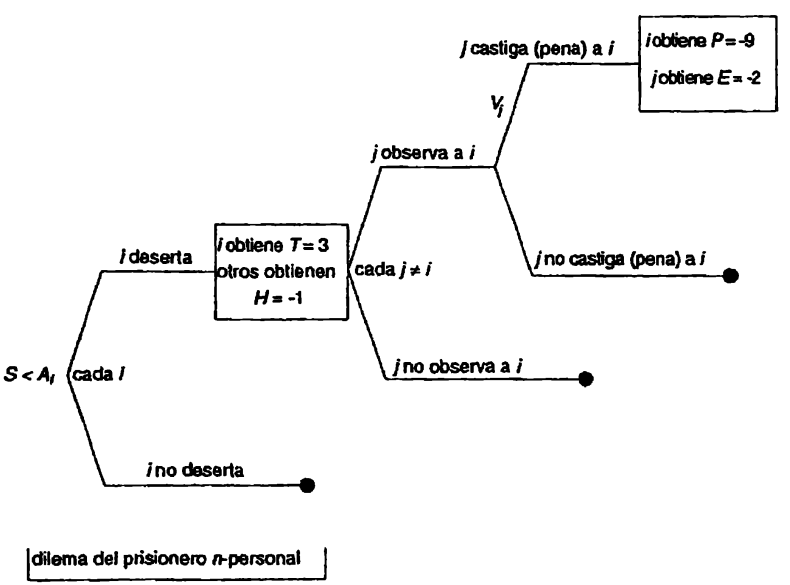

FIGURA 3.1. *Juego de normas*

Hasta aquí, el juego es similar a un Dilema del Prisionero *n*-personal (véase, por ejemplo, G. Hardin, 1968; R. Hardin, 1982; Schelling, 1978). La nueva característica aparece en el siguiente paso. Si el jugador *i* deserta, algunos de los otros jugadores pueden elegir penar al desertor. Si el desertor es *penado (P)* el

rédito es un muy penoso $P = -9$, pero dado que el acto de castigar suele ser algo costoso, el que castiga tiene que pagar un *costo de ejecución (E)* igual a –2. (Véase el cuadro 3-1).

CUADRO 3.1. *Ejemplo de réditos en el juego de normas alcanzados por un jugador con una Audacia igual a 2/7 y una Vengatividad igual a 4/7*

Suceso	*Rédito por suceso*	*Número de sucesos*	*Rédito*
Deserción	$T = 3$	1	3
Pena	$P = -9$	1	–9
Heridas por los otros	$H = -1$	36	–36
Costo de ejecución	$E = -2$	9	–18
PUNTAJE			–60

La estrategia de un jugador tiene por ende dos dimensiones. La primera dimensión de la estrategia del jugador *i* es la *audacia* (A_i), que determina el momento en que el jugador desertará. El jugador desertará siempre que la posibilidad de ser visto por alguien sea menor que la audacia del jugador, lo que equivale a decir, siempre que $O < A_i$. La segunda dimensión de la estrategia de un jugador es la *vengatividad* (V_i), que es la probabilidad de que el jugador castigue a alguien que está desertando. Cuanto mayor sea la vengatividad del jugador, más probable será que él o ella castigue a alguien que es encontrado desertando.

Simulación del juego de normas

La simulación del juego de normas determina cómo evolucionan en el tiempo las estrategias de los jugadores. Las dos dimensiones de una estrategia, audacia y vengatividad, están habilitadas para tomar cada una de ellas uno entre ocho niveles, desde 0/7 hasta 7/7. Dado que la representación de ocho niveles requiere tres bits binarios, la representación de la estrategia de un jugador requiere un total de seis bits, tres para la audacia y tres para la vengatividad.

La simulación en sí se desarrolla en cinco pasos, de la siguiente manera:

1. Las estrategias para la población inicial de 20 jugadores se eligen al azar de un conjunto de posibles estrategias.
2. El puntaje de cada jugador se determina a partir de las propias opciones del jugador y las opciones de los otros jugadores. Cada individuo tiene cuatro oportunidades para desertar. Para cada una de estas oportunidades, la posibi-

lidad de ser observado, O, se toma de una distribución uniforme entre 0 y 1. Para ver cómo se alcanzan los puntajes, enfoquemos sobre un jugador arbitrario de población inicial de una de las partidas, a quien llamaremos Lee. Lee tiene un nivel de audacia de 2/7 y un nivel de vengatividad de 4/7. El rédito total que Lee recibió fue el resultado de cuatro clases diferentes de acontecimientos, como se lo muestra en el cuadro 3.1. Lee desertó sólo una vez porque sólo en una de las cuatro oportunidades tuvo una posibilidad de ser visto que fue menor que su audacia de 2/7. Esta deserción dio un rédito de tentación de $T = 3$ puntos. Desafortunadamente para Lee, uno de los otros jugadores observó la deserción y eligió penarla, llevando a una pérdida para Lee de $P = -9$ puntos. Además, los otros jugadores desertaron un total de 36 veces, hiriendo cada uno a Lee en $H = -1$ punto. Finalmente, Lee observó quién era el responsable de alrededor de la mitad de estas deserciones y eligió penar cada una de ellas con una probabilidad determinada por su vengatividad de 4/7. Esto llevó a una pena de 9 de las deserciones y a un costo de ejecución de $E = -2$ cada una, con una pérdida total de 18 puntos. El resultado neto de estos cuatro tipos de acontecimientos fue un puntaje total de –60 para Lee.

3. Cuando se han determinado los puntajes de todos los jugadores, los individuos cuyas estrategias fueron relativamente exitosas se seleccionan para tener más retoños.[2] El método consiste en dar a un individuo promedio un retoño y dar dos retoños a un individuo que es una desviación del estándar más efectiva que el promedio. Un individuo que es una desviación del estándar por debajo del promedio de la población no verá reproducida su estrategia en absoluto. Por conveniencia, el número de la descendencia se ajusta para mantener una población constante de 20. Un paso final es la introducción de alguna mutación de manera tal que nuevas estrategias puedan surgir y ser probadas. Esto se lleva a cabo habilitando la posibilidad de que cada bit de la nueva estrategia de un individuo sea alterado en un 1%. Esta tasa de mutación da algo más de una mutación por generación en la población total.
4. Los pasos 2 y 3 se repiten durante 100 generaciones para determinar cómo evoluciona la población.
5. Los pasos 1 a 4 se repiten para dar cinco partidas completas de la simulación.

Los resultados de las cinco partidas se muestran en la figura 3.2. Los cinco círculos indican la audacia y vengatividad promedio de una población después

[2] El procedimiento utilizado se inspira en el algoritmo genético del computador científico John Holland (1975; 1980).

de 100 generaciones. Tres resultados completamente diferentes aparecen como posibles. En una de las partidas, hubo un moderado nivel de vengatividad y casi ninguna audacia, que indica el establecimiento parcial de una norma contra la deserción. En otras dos partidas hubo escasa audacia y escasa vengatividad, y en las dos partidas restantes, hubo un montón de audacia y casi ninguna vengatividad: el opuesto mismo de una norma contra la deserción. ¿Qué podría estar ocurriendo?

El modo en que las estrategias evolucionan realmente en el tiempo es revelado por el cambio que tiene lugar en una única generación en la audacia y vengatividad promedio de una población. Para calcular esto, se utiliza la información de 100 generaciones de las cinco partidas, lo que da 500 poblaciones. Luego, las poblaciones con una audacia y vengatividad similar se agrupan juntas, y se mide su audacia y vengatividad promedio una generación después. Los resultados se indican mediante flechas en la figura 3.2.

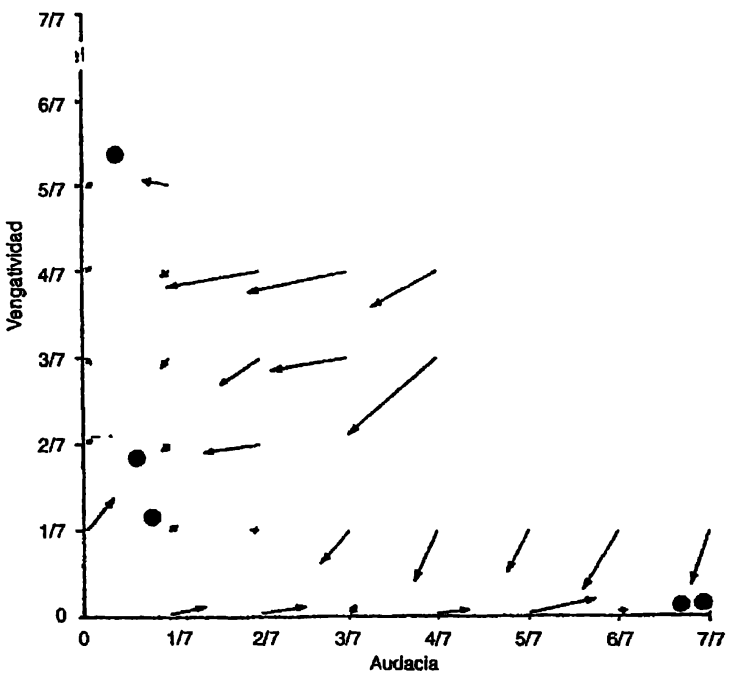

FIGURA 3.2. *Dinámica del juego de normas*

Ahora, los diversos resultados comienzan a encajar en un patrón común. Las cinco partidas comienzan hacia el centro del campo, con niveles promedio de audacia y vengatividad de aproximadamente la mitad. Lo primero que ocurre es una dramática caída en el nivel de audacia. La razón para la declinación es

que cuando hay bastante vengatividad en la población, es muy costoso ser audaz. Una vez que el nivel de audacia cae, la tendencia principal es un descenso de la vengatividad. La razón para esto es que ser vengativo y castigar una deserción que se ha observado exige el pago de un costo de ejecución sin ningún rerribución directa para el individuo. Finalmente, una vez que el nivel de vengatividad ha caído casi a cero, los jugadores pueden ser audaces con impunidad. Esto da por resultado un aumento de la audacia, destruyendo toda moderación que se hubiese establecido en la primera etapa del proceso: una triste pero estable cualidad de este juego de normas.

Este resultado plantea la pregunta de qué se necesita para establecer una norma. Dado que el problema es que nadie tiene un incentivo para penar una deserción, la sección que sigue explora uno de los mecanismos que proporciona un incentivo para ser vengativo.

Metanormas

Una norma nunca suficientemente lamentada y alguna vez de gran fuerza fue la práctica del linchamiento para imponer las reglas de los blancos en el Sur de los Estados Unidos. Un episodio particularmente ilustrativo tuvo lugar en Texas en 1930, después de que un hombre negro fue arrestado por atacar a una mujer blanca. La muchedumbre estaba impaciente, así que le prendieron fuego a la sede del tribunal para matar al prisionero que estaba adentro. Un testigo declaró: "Oí que un hombre, justo detrás de mí, comentaba del fuego: '¿No es una vergüenza?' Tan pronto como esas palabras salieron de su boca alguien lo derribó pegándole con una botella de refresco. Le habían golpeado la boca y tenía muchos dientes rotos" (Cantril, 1941: 101). Ésta es una manera de ejecutar una norma: castigar a aquellos que no la sostienen. En otras palabras, ser vengativo, no sólo contra los violadores de la norma, sino contra cualquiera que se niegue a castigar a los desertores. Esto equivale a establecer la norma de que uno debe penar a aquellos que no penan una deserción. Esto es lo que llamaré una *metanorma.*

Las metanormas se han usado ampliamente en los sistemas de denuncia en las sociedades comunistas. Cuando las autoridades acusan a alguien de hacer algo malo, los demás son impulsados a denunciar al acusado. No unirse a esta forma de castigo es tomado en sí mismo como una deserción contra el grupo (Bronfenbrenner, 1970; Meyers y Bradbury, 1968).

Como otro ejemplo, cuando la Unión Soviética sustentó la supresión del movimiento Solidaridad en Polonia, los Estados Unidos le pidieron a sus aliados que dejaran de proveer a la Unión Soviética de componentes para su nuevo

gasoducto. Los aliados, que no querían pagar el costo de ejecución de este castigo, se negaron. Los Estados Unidos emprendieron entonces el metacastigo de imponer sanciones a las compañías extranjeras que desafiaran la proscripción de venta (*New York Times*, 5 de enero y 19 de junio de 1982).

La formulación de un juego de metanormas puede ayudar en la exploración de la efectividad de este mecanismo. La figura 3.3 muestra de qué modo el juego de metanormas se basa en una extensión del juego de normas. Si alguien deserta, y Lee ve pero no pena esa deserción, entonces los otros jugadores tienen la posibilidad de ver y penar a Lee. El modelo realiza la presunción crítica de que la vengatividad de un jugador contra el no castigo es igual a la vengatividad del jugador contra la deserción original.[3] La validez de este supuesto se abordará más tarde, pero primero veamos qué efecto tiene en la evolución del proceso.

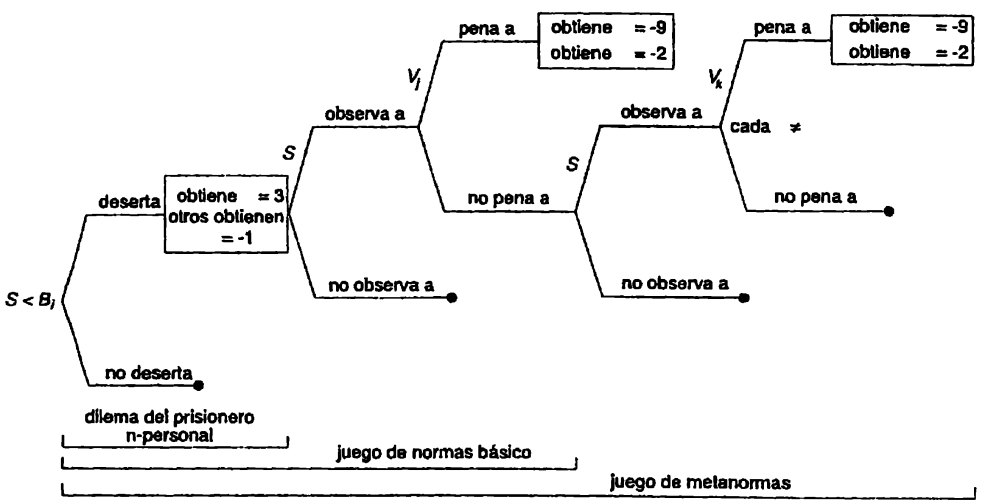

FIGURA 3.3. *Juego de metanormas*

Se llevó a cabo un conjunto de cinco partidas con el juego de metanormas, cada una de ellas realizada como antes con una población de 20 jugadores y una duración de 100 generaciones. Los resultados se muestran en la figura 3.4: son evidentes. En las cinco partidas se estableció una norma contra la deserción. La dinámica es clara. La cantidad de vengatividad aumentó rápidamente hasta niveles muy altos, y esto a su vez hizo descender la audacia. La lógica también es

[3] Por conveniencia, se presume también que la posibilidad de ser visto no penando es igual a la posibilidad de que la deserción original sea vista. El rédito por la metapena es de $P' = -9$, y el costo de la metaejecución es $E' = -2$.

clara. Al principio había una cantidad mediana de vengatividad en la población. Esto significaba que un jugador tenía un fuerte incentivo para ser vengativo, es decir, para evitar la pena por no penar una deserción que hubiese observado. Además, cuando cada uno de los jugadores es vengativo más allá de la autoprotección, a nadie le resulta provechoso ser audaz. De manera que todo el sistema es autovigilante, y la norma queda bien establecida.

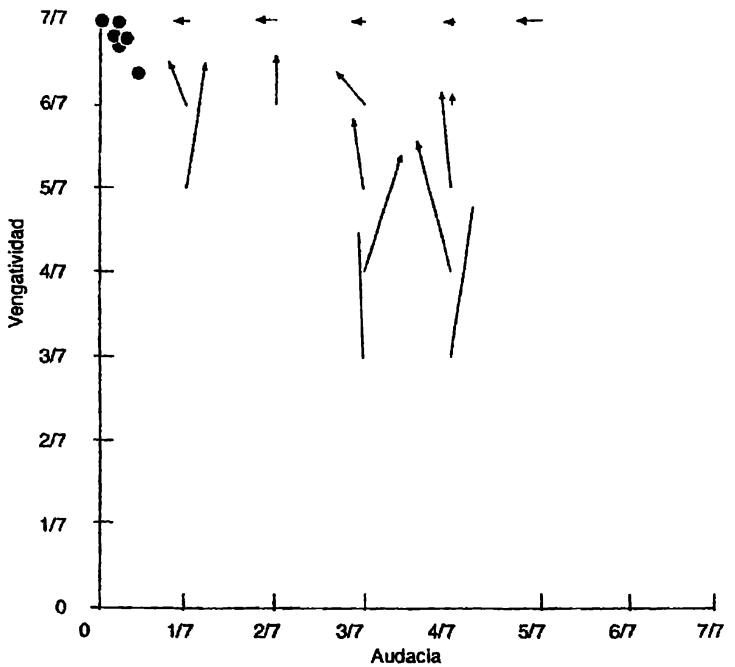

FIGURA 3.4. *Dinámica del juego de metanormas*

Este resultado depende, no obstante, de que la población comience con un nivel suficientemente alto de vengatividad. De otro modo, la norma también colapsa. Por ende, mientras que el juego de normas colapsa sin importar cuáles sean las condiciones iniciales, el juego de metanormas puede impedir deserciones si las condiciones iniciales son lo suficientemente favorables.

Mecanismos para sustentar normas

Las simulaciones del juego de normas y el juego de metanormas permitieron la exploración de algunos de los procesos importantes en la dinámica de las normas. La simulación del juego de normas muestra que hacer que recaiga en los

individuos penar las deserciones puede no bastar para mantener una norma. Por lo tanto, la pregunta que hemos de considerar ahora es la siguiente: ¿qué mecanismos pueden servir para sustentar una norma que está sólo parcialmente establecida? La aproximación evolutiva ayuda a desarrollar una lista de esos procesos, y en algunos casos, sugiere métodos específicos para modelar el proceso por el cual puede sustentarse una norma.

Metanormas

Como lo muestran las simulaciones por computadora, la existencia de una metanorma puede ser un modo efectivo para poner en marcha una norma y para protegerla una vez que está establecida. Al vincular la vengatividad contra el no castigo con la vengatividad contra los desertores, la metanorma proporciona un mecanismo por el cual la norma contra la deserción se vuelve autovigilante. El truco, por supuesto, consiste en vincular ambas clases de vengatividad. Sin este vínculo, el sistema podría desmoronarse. Un individuo podría reducir el nivel de metavenganza y seguir siendo vengativo y luego dejar de ser vengativo cuando los otros dejaran de ser metavengativos.

Los ejemplos antes citados sugieren que las personas bien pueden castigar a aquellos que no colaboran en la ejecución una norma valorada. El modelo sugiere que las normas pueden sustentarse si las personas tienden a tener grados correlativos de vengatividad o de ira contra alguien que viola una norma en particular y contra alguien que tolera esa violación. Lo que la aproximación evolutiva ha hecho es plantear la posibilidad de que las metanormas sean un mecanismo que puede ayudar a sustentar normas, sugiriendo de ese modo la interesante pregunta empírica de si los dos tipos de vengatividad son efectivamente correlativos. Mi sospecha es que existe esa correlación. Los tipos de deserción que nos producen más ira probablemente sean aquellos cuya tolerancia nos produce más ira. Hasta ahora, sin embago, la posibilidad de las metanormas sigue siendo especulativa.

Predominio

Otro mecanismo para sustentar una norma es el predominio de un grupo por sobre otro. Por ejemplo, no es ninguna coincidencia que en el Sur, los blancos lincharan a los negros pero los negros no lincharan a los blancos. Los blancos tenían dos ventajas básicas: mayor poder económico y político, y mayor número.

La simulación de los efectos del poder y del número puede hacerse fácilmente con ligeras extensiones del modelo básico para permitir la existencia de dos grupos diferentes. La competencia entre dos grupos puede ser modelada asumiendo

que las deserciones de un jugador sólo hieren a los miembros del otro grupo, y por lo tanto sólo pueden ser penalizadas por miembros del otro grupo. De manera similar, en la versión metanormal del modelo, el castigo por no castigar a un desertor sólo ocurriría dentro de un grupo, como queda ilustrado por la botella de refresco utilizada por un blanco contra otro en el ejemplo del linchamiento expuesto más arriba. Además, al determinar estrategias para la siguiente generación, se permitiría a las estrategias de dos grupos adaptarse por separado de manera que los blancos aprendan de los blancos y los negros aprendan de los negros.

Las dos ventajas de los blancos se modelan por separado. Su mayor poder económico o político se refleja en su reducido costo al ser castigados por un negro. Esto se llevó a cabo haciendo que $P = -3$ para los blancos mientras que se mantuvo $P = -9$ para los negros. Las cantidades mayores de blancos se reflejan directamente en la magnitud relativa de las dos poblaciones, que le otorga a lo blancos una mayor posibilidad de observar y castigar una deserción negra que viceversa. Eso se llevó a cabo haciendo que la población fuese de 20 blancos y 10 negros.

El análisis de las partidas realizadas bajo estas condiciones muestra que la resistencia al castigo y una magnitud aumentada puede ayudar a un grupo, pero sólo si hay metanormas. Sin metanormas, incluso los miembros de un grupo más fuerte tienden a ser jinetes libres, sin ningún incentivo privado para cargar con el costo de ejecución. A su vez, esto lleva a una baja vengatividad y una alta audacia en ambos grupos. Cuando se añaden metanormas, se torna relativamente fácil para el grupo fuerte impedir que el grupo débil sea audaz, mientras que no es tan fácil para el grupo débil impedirle al fuerte desertar.

Otra forma de fuerza potencial queda ilustrado por el caso de una potencia mayor interactuando con muchas naciones más pequeñas. Por ejemplo, los Estados Unidos pueden estar no sólo en una posición favorable en una determinada interacción bilateral, sino que además puede tener muchas más interacciones bilaterales que otros. Por ende, su comportamiento tiene un impacto mayor sobre el desarrollo de normas que el que tendría una potencia menor. Cuando Libia quiso modificar la norma internacional de las veinte millas del límite de las aguas territoriales para incluir todo el Golfo de Sidra, la flota de los Estados Unidos deliberadamente navegó en aguas del Golfo y derribó dos aviones libios enviados a intentar cambiar la norma. Claramente, los Estados Unidos no sólo eran más fuertes, sino que tenían incentivos para ejecutar la vieja norma basada en sus intereses navales en otras partes del mundo.

Aunque el proceso de interacciones frecuentes por un único jugador fuerte no ha sido simulado aún, es plausible que ese proceso ayude a establecer una norma contra la deserción porque el jugador central tendría un mayor incentivo unilateral para ser vengativo contra las deserciones.

Las normas pueden ser promovidas también por los intereses de unos pocos actores principales, como los Estados Unidos y la Unión Soviética trabajando los dos para retardar la proliferación de armas nucleares. Sus acciones no tienen por qué ser coordinadas en detalle, ya que son lo suficientemente importantes como para que otros ejecuten una norma sobre la opción de los actores principales. La lógica es algo análoga al "grupo privilegiado" de Olson en un problema de acción colectiva (Olson, 1965: 48-50).

Internalización

Con frecuencia, las normas se internalizan (Scott, 1971). Eso significa que violar una norma establecida es psicológicamente doloroso, incluso si los beneficios materiales directos son positivos. Esto se observa con frecuencia en experimentos de laboratorio en los que los individuos son más equitativos de lo que tendrían que ser y explican su comportamiento diciendo cosas como "tienes que vivir contigo mismo". En términos del juego de normas, este tipo de internalización significa que la tentación de desertar, T, es negativa en lugar de positiva. Si todos internalizan tan fuertemente una determinada norma, no hay incentivo para desertar y la norma permanece estable. Obviamente, las familias y las sociedades trabajan muy duro para internalizar una amplia variedad de normas, especialmente en los jóvenes, a quienes pueden ser inculcadas. Lo hacen con mayor o menor éxito, dependiendo de muchos factores, entre ellos el grado en que el individuo se identifica con el grupo y el grado en que la norma y quienes la auspician son considerados legítimos.[4]

Es raro que todos en un grupo tengan una norma tan fuertemente internalizada que la tentación de desertar para cada uno sea realmente negativa. Una pregunta interesante para un modelado futuro es: ¿cuántas personas tienen que internalizar una norma a fin de que permanezca estable?

La lógica del juego de normas sugiere que disminuir la tentación de desertar podría no ser suficiente. Después de todo, incluso si la mayoría de las personas no desertara, si nadie tuviera un incentivo para castigar a los desertores que quedan, la norma aún podría colapsar. Este punto sugiere que busquemos la internalización, no sólo en el incentivo reducido a desertar, sino también en un incentivo aumentado a castigar a alguien más que sí deserta.

Un incentivo aumentado para el castigo, a través de la internalización o de algún otro medio, llevaría a algunas personas a sentir una ganancia en castigar a

[4] Marx llega a decir que las normas sociales son meramente reflejos de los intereses de la clase dominante, y las otras clases son socializadas en la aceptación de estas normas bajo una "falsa conciencia".

un desertor. Para ellas, el rédito por la ejecución, *E*, sería realmente positivo. Con frecuencia, a esas personas se las tilda de entrometidos autojustificativos *[self-righteous busybodies]*, y a menudo no son muy queridos por aquellos que gustan de una deserción de tanto en cuando. Dada la suficiente gente que disfrutara de ejecutar la norma, la cuestión de su mantenimiento pasa a ser si la posibilidad de que la deserción sea vista es alta o baja.

Disuasión

En el juego de normas y en el de metanormas, los jugadores no miran hacia delante. Más bien prueban una estrategia en particular, ven cómo funciona, comparan sus réditos con los réditos de los otros y cambian sus estrategias si les está yendo pobremente. Aunque el ensayo y error es una manera sensible de modelar a jugadores de una racionalidad limitada, no capta la idea de que los jugadores pueden tener un entendimiento suficientemente grande de la situación como para hacer algunos cálculos anticipados así como comparaciones retrospectivas con los otros. En particular, una persona puede advertir incluso que si bien penar una deserción es costoso ahora, puede arrojar ganancias a largo plazo al desalentar otras deserciones más adelante.

Un buen ejemplo es la fuerte respuesta de los Estados Unidos a la negativa de Nueva Zelanda, en febrero de 1985, de permitir la entrada de un destructor estadounidense en el puerto de Auckland sin la seguridad de que no llevaba armas nucleares. Al gobierno de los Estados Unidos presumiblemente no le importaba demasiado el acceso nuclear a los puertos de Nueva Zelanda, pero sí le importaba mucho desalentar la diseminación de una nueva norma de "alergia nuclear" entre sus muchos aliados en otras partes del mundo (Arkin y Fieldhouse, 1985).

Demostración social

Un principio importante de la psicología social es la "demostración social" que se aplica especialmente a lo que las personas deciden que es el comportamiento correcto. Como Cialdini (1984: 117) lo explica,

> consideramos que un comportamiento es más correcto en una determinada situación en la medida en que vemos a otros que lo ponen en práctica. Ya sea que la pregunta sea qué hacer con un recipiente vacío de palomitas de maíz en un cine, cuán rápido conducir en un determinado tramo de una autopista, o cómo comer el pollo en una cena, las acciones de quienes se encuentran a nuestro alrededor serán importantes para definir la respuesta.

Las acciones de quienes están a nuestro alrededor cumplen numerosas funciones. Primero, proveen información sobre los niveles de audacia de los otros, e indirectamente sobre la vengatividad de la población. Por consiguiente, podemos inferir algo acerca de si será redituable para nosotros ser audaces o no. Segundo, las acciones de otros podrían contener claves acerca de cuál es el mejor curso de acción, incluso si no hay ninguna vengatividad. Por ejemplo, las personas pueden estar conduciendo despacio en un determinado tramo de autopista, no porque haya un dispositivo para detectar el exceso de velocidad allí, sino porque la carretera está mal pavimentada un poco más adelante. De uno u otro modo, las acciones de los otros pueden proveer información sobre el modo como la población se ha estado adaptando a un entorno en particular. Si somos nuevos en ese entorno, ésta es información valiosa sobre cómo debería ser nuestro propio comportamiento (Asch, 1951, 1956; Sherif, 1936). Las acciones de los otros proporcionan información acerca de lo que es apropiado para nosotros, aun si ignoramos las razones. Finalmente, en muchos casos, al amoldarnos a las acciones de quienes se hallan a nuestro alrededor, satisfacemos una necesidad psicológica de ser parte de un grupo.

Nuestra propensión a actuar sobre el principio de la demostración social es un mecanismo importante para el sustento de las normas. El modelo actual de normas ya tiene una forma de este mecanismo incorporada: cuando un individuo relativamente sin éxito busca una nueva estrategia, esa estrategia es seleccionada entre aquellas que están siendo utilizadas por el resto de la población. Ésta es una forma de demostración social, refinada al darle peso a las estrategias más exitosas que están siendo empleadas en la población.

En casos en los que las personas difieren de manera considerable, el principio de demostración social tiende a aplicarse a aquellos que más se parecen a nosotros. También esto es fácil de incorporar en simulaciones con más de un grupo. En la simulación de negros y blancos, los negros sólo miran a otros negros cuando seleccionan una nueva estrategia, y los blancos sólo miran a otros blancos. Esto tiene sentido porque una estrategia que es muy exitosa para un blanco podría ser desastrosa si es empleada por un negro.

Membresía

Otro mecanismo para el sustento de normas es la membresía voluntaria a un grupo que trabaja conjuntamente por un fin común.[5] Contratos, tratados, alianzas y membresías en grupos sociales traen consigo un cierto poder para impo-

[5] Agradezco a David Yoon y Lynn Sanders por señalarme esto.

ner obligaciones a los individuos. El poder de la membresía opera de tres maneras. Primero, afecta directamente la función de utilidad del individuo, haciendo menos atractiva una deserción porque desertar de un compromiso voluntariamente asumido tendería a disminuir la propia autoestima. Segundo, la membresía a un grupo permite a personas con ideas afines interactuar entre sí, y esta autoselección tiende a hacer mucho más fácil para los miembros ejecutar la norma implícita en el acuerdo de formar o de unirse a un grupo. Por último, el acuerdo mismo de formar un grupo ayuda a definir lo que se espera de los participantes, clarificando así cuándo ocurre una deserción y cuándo se requiere un castigo.

Uno podría suponer que para un individuo audaz sería fácil unirse y luego explotar a un grupo que se ha reunido con la expectativa de la mutua conformidad. En realidad, esto no ocurre habitualmente, en parte porque los factores que se acaban de esbozar tienden a aislar a un desertor y hacen relativamente fácil que los otros sean vengativos, especialmente con la ayuda de metanormas. Otro factor es que, de acuerdo con evidencia experimental reciente, los cooperantes tienen más probabilidades de permanecer en un grupo que los desertores (Orbell y otros, 1984). Esto sucede porque los cooperantes tienen un impulso ético o grupal más fuerte que los desertores, factor que los condujo a cooperar en primer lugar.

El juego de metanomas puede expandirse para incluir la opción de unirse a un grupo o no.[6] En general, el valor que tenga para una persona unirse a un grupo dependerá de cuantos otros se unan a él. Cada uno de los jugadores haría esta elección al inicio del juego. Luego ocurrirían como antes las interacciones referentes a deserciones y castigos, con las interacciones limitadas a aquellos que efectivamente se han unido. A modo de ejemplo, una alianza para la seguridad colectiva incluiría a un grupo de naciones que se han unido para este propósito común. Una vez que una nación se ha unido, una deserción consistiría en no defender a la alianza en alguna tarea de seguridad colectiva. La deserción heriría a los otros miembros de la alianza, y algunos de ellos podrían optar por castigar al desertor; también podrían optar por castigar a alguien que no castigara al desertor. Como de costumbre, cuanto más amplio sea el número de naciones que se unieran a un grupo, mayores serían los beneficios de la cooperación para sus miembros.

En la esfera política, la membresía voluntaria en la forma de un contrato social ha sido una imagen poderosa para el sustento de las formas democráticas

[6] Agradezco a David Yoon por formular esta variante del juego de metanormas y la aplicación a las alianzas que sigue.

de gobierno. En efecto, un acuerdo mítico es utilizado para dar legitimidad a un conjunto muy real de leyes e instituciones.

La ley

Las normas a menudo preceden a las leyes, pero luego son sustentadas, mantenidas y extendidas por leyes. Por ejemplo, las normas sociales acerca de fumar en público están cambiando. A medida que más y más gente se torna vengativa contra alguien que enciende un cigarrillo en un sitio cerrado, cada vez menos fumadores son tan audaces como para hacerlo sin pedir permiso. A medida que esta norma se hace más firme, hay un sustento creciente para formalizarla a través de la promulgación de leyes que definan dónde está permitido fumar y dónde no lo está.[7]

Una ley sustenta una norma de muchas maneras. La más obvia es que suplementa los mecanismos privados de la ejecución con la fuerza del Estado. Dado que la ejecución puede ser costosa para el individuo, ésta puede ser una tremenda ventaja. En efecto, bajo la ley se evita el problema de la ejecución de los bienes colectivos porque se otorgan incentivos selectivos a individuos especializados (inspectores, policía, jueces, etcétera) para que encuentren y castiguen las violaciones.

La ley tiene también un poder sustancial propio, más allá de si es o puede ser ejecutada. Es probable que muchas personas se tomen en serio la idea de que un acto específico es prescrito por la ley, ya sea un requisito para utilizar cinturón de seguridad o un impuesto a la renta sobre las ganancias de capital. Sin embargo, todos sabemos que este respeto a la ley tiene sus límites, y sospechamos que muchas personas no pagan todos los impuestos que deberían. Incluso cuando la ejecución es posible y se la procura, la fuerza de la ley es limitada. En la mayoría de los casos, la ley sólo puede operar como un suplemento (y no como un substituto) de la ejecución informal de la norma. El fracaso de la ley antialcohólica es un ejemplo clásico de un intento de ejecutar una norma sin el suficiente sustento social.

Además de la ejecución y el respeto, una tercera ventaja de la ley es la claridad. La ley tiende a definir obligaciones con mucha más claridad que una norma informal. Una norma social podría decir que un propietario debería proporcionar una vivienda segura a los arrendatarios, pero es más probable que un código de vivienda defina la seguridad en términos de escaleras de incendio. En

[7] El mismo proceso de formalización de normas se aplica a las leyes y regulaciones privadas, como en el caso de una empresa que lanza una regla interna sobre quién es responsable de preparar café.

el dominio cubierto por la ley, la norma podría tornarse bastante clara. Sin embargo, esta claridad se obtiene a expensas de sugerir que la conformidad con la ley es el límite de las propias obligaciones sociales.

Modelar el poder y la operación de la ley está más allá del alcance de este proyecto. Sin embargo, aun así debería enfatizarse que a menudo la ley es la formalización de lo que ya ha llegado a tener fuerza como una norma social o política. Un ejemplo importante son las libertades civiles, el fundamento mismo de un sistema democrático. Hay leyes y estipulaciones constitucionales en defensa de las libertades civiles como la libertad de palabra, pero el sistema legal sólo puede proteger la libertad de palabra si hay suficiente sustento para ella entre una población dispuesta a tolerar el disenso y dispuesta a proteger a aquellos que lo ejercen.

En suma, las normas sociales y las leyes a menudo se sustentan mutuamente. Esto es así porque las normas sociales pueden ser formalizadas en leyes y porque las leyes proporcionan una validación externa de las normas. Se sustentan mutuamente también porque tienen fuerzas y debilidades complementarias. A menudo, las normas sociales son mejores para prevenir numerosas deserciones pequeñas en las que el costo de la ejecución es bajo. Las leyes, por otra parte, a menudo funcionan mejor para prevenir raras pero grandes deserciones porque hay recursos sustanciales disponibles para la ejecución.

Reputación

Una razón importante y a menudo preponderante para respetar una norma es que violarla proporcionaría una señal sobre el tipo de persona que uno es. Por ejemplo, si hay una norma que dicta que las personas deberían vestirse formalmente para la cena, y uno no lo hace, los demás podrían hacer algunas inferencias generales acerca de uno.

Vestirse formalmente cuando la ocasión lo requiere no es importante solamente porque los otros nos castigarán por violar la norma (digamos, dirigiéndonos una mirada de desaprobación), sino también porque inferirán cosas acerca de uno y luego actuarán de maneras que uno no desearía. Éste es un ejemplo del principio de señalamiento: una violación de una norma no es sólo un bit de comportamiento que tiene un rédito para el desertor y para los otros; es también una señal que contiene información acerca del comportamiento futuro del desertor en una amplia variedad de situaciones.[8]

[8] Para la teoría del señalamiento, véase Spence (1974). Para una teoría acerca de cómo las costumbres pueden estar sustentadas por las reputaciones, véase Akerlof (1980).

Hay numerosas e importantes implicancias del principio de señalamiento para el origen y la durabilidad de una norma. Es probable que una norma se origine en un tipo de comportamiento que señala cosas acerca de los individuos que conducirán a los otros a premiarlos. Por ejemplo, si un cierto acento señala una buena crianza, los otros pueden dar un mejor tratamiento a quienes hablan de esa manera. Una vez que esto ocurre, probablemente más personas traten de hablar así. Eventualmente, la gente podría ser castigada (por ejemplo, despreciada) por no tener el acento correcto. Por ende, lo que comienza como una señal acerca de la educación de una persona puede convertirse en una norma para todas.[9]

El principio de señalamiento ayuda a explicar cómo un "es" se convierte en un "debería". A medida que más y más personas utilizan la señal para obtener información sobre los otros, más y más personas adoptarán el comportamiento que lleva a ser tratados bien. Gradualmente, la señal pasará de indicar una persona singular a indicar una persona común. Por otra parte, la ausencia de la señal, que originalmente acarreaba escasa información, llegará a acarrear información sustancial cuando la señal se haga común. Cuando casi todos se comportan conforme a una señal, los que no lo hacen se destacan. Entonces estas personas pueden ser miradas como violadores de una norma, y tratadas en consecuencia.

Nótese que hay una distinción importante entre una convención, que no tiene réditos directos en un sentido o en otro (como llevar corbata para los hombres), y un acto cooperativo, cuya violación conlleva un perjuicio hacia otros (por ejemplo, formar cola para recibir un servicio). Un tipo de comportamiento sin ningún rédito directo puede volverse una norma una vez que desarrolla algún valor de señalamiento, como ocurre cuando los líderes de la moda adoptan un nuevo estilo (Veblen, 1899). Una vez que esto ocurre, un violador de este estilo será mirado con desprecio. Así, el estilo se convertirá en una norma; usualmente los individuos seguirán el estilo, y los que no lo hagan probablemente serán castigados.

El origen y contenido de las normas

Se han identificado ocho mecanismos que pueden servir para sustentar una norma que ya está al menos parcialmente establecida. ¿Cuáles son, en todo caso, las características del comportamiento que surgen y luego quedan cada vez más esta-

[9] Las señales también puede ayudar a diferenciar grupos y, por ende, a mantener las fronteras y la cohesión de un grupo.

blecidas como normas? O para decirlo de otro modo, ¿cuál es el contenido del comportamiento que más tarde podría convertirse en una norma?

La respuesta depende de qué tipos de comportamiento puedan aparecer y desparramarse en una población aun cuando sólo unas pocas personas exhiben el comportamiento inicialmente. Esto, a su vez, depende de qué clase de comportamiento es probable que se premie y castigue por sí mismo, independientemente de que sea o no un comportamiento común.

Dos de los mecanismos de sustento ya considerados pueden jugar este papel inicial: el predominio y la reputación. El predominio puede funcionar porque si sólo unos pocos actores muy poderosos quieren promover un cierto patrón de comportamiento, sus castigos pueden ser suficientes, a menudo, para establecerlo, incluso si los otros no son vengativos contra las deserciones. Las implicancias para la sustancia de las normas son obvias: es más fácil que una norma se ponga en vigor si sirve a los intereses de unos pocos poderosos.

En efecto, muchas normas obedecidas e, incluso, ejecutadas por casi todos sirven en realidad a los poderosos. Esto puede ocurrir en formas disfrazadas de igualitarismo o en formas que son abiertamente jerárquicas. Una norma aparentemente igualitaria es que a los ricos y a los pobres se les prohibe por igual el dormir bajo los puentes durante la noche. Una norma abiertamente jerárquica es que los soldados deben obedecer a sus oficiales. Ambas formas son "normas de parcialidad", para usar un término de Ullmann-Margalit (1977).

Decir que los poderosos pueden iniciar una norma sugiere mucho sobre la sustancia potencial de esas normas. Una vez iniciadas, los fuertes sustentan las normas porque las normas sustentan a los fuertes.

El predominio no es el único mecanismo capaz de iniciar una norma. La reputación también puede hacerlo. Considérese, por ejemplo, la idea de mantener una promesa. En una sociedad hipotética en la que pocas personas mantuvieran sus promesas, uno estaría feliz de tratar con alguien que lo hiciera. Uno encontraría de su propio estrecho interés seguir tratando con esa persona, y esto a su vez sería beneficioso para el que mantiene sus promesas. Inversamente, uno intentaría evitar el trato de aquellos que supiera que no mantienen sus promesas. Uno sería, efectivamente, vengativo contra los desertores sin tener que pagar un costo de ejecución. De hecho, la ejecución sería simplemente el resultado de actuar en el propio interés, basado en la reputación de otros y en los propios cálculos acerca de lo que es bueno para uno mismo.

Los regímenes internacionales dependen justamente de esos mecanismos de reputación para poner en funcionamiento las normas (Keohane, 1984). En esos casos, los países pueden ser muy prudentes acerca de las promesas que hacen y cuáles se proponen mantener cuando hay mucho en juego (Axelrod,

1979). Los efectos de la reputación pueden basarse también en la racionalidad limitada de un aprendizaje de ensayo y error. Si una persona asocia la respuesta de otra a un acto en particular (por ejemplo, la negativa a continuar teniendo trato como reacción a la ruptura de una promesa), entonces el violador puede aprender a no romper promesas.

La aproximación del aprendizaje sugiere la importancia de ser capaz de vincular el comportamiento con la respuesta. Los comportamientos serán más fáciles de establecer como normas si la respuesta óptima de los otros es inmediata y beneficiosa. A falta de una respuesta inmediata, el aprendizaje también puede tener lugar si el castigo aplazado es citado explícitamente como una respuesta a la previa deserción.

Resumen y conclusión

Para estudiar el desarrollo de las normas, se ha modelado la situación estratégica como un juego *n*-personal. En el juego de normas básico, cada uno tiene dos tipos de elección: la elección de cooperar o desertar, que afecta a todos, y la elección de castigar o no a una persona específica a quien se ha visto desertar. La estrategia de un jugador se describe en términos de cómo se llevará a la práctica esta elección. Una estrategia consiste en dos parámetros: audacia (el mayor riesgo de ser visto que conduce a una opción de deserción) y vengatividad (la probabilidad de castigar a alguien a quien se ha observado desertando). En la medida en que los jugadores son vengativos pero no muy audaces, se puede decir que una norma se ha establecido.

Para estudiar la dinámica del proceso se ha empleado un abordaje evolutivo. En este abordaje, las estrategias iniciales se eligen al azar, y la población de jugadores recibe oportunidades de desertar y de castigar las deserciones que ellos observan. El abordaje evolutivo determina que las estrategias que demuestran ser relativamente efectivas tienen más probabilidades de ser empleadas en el futuro, mientras que las estrategias menos efectivas son descartadas. Además, las estrategias sufren ciertas mutaciones aleatorias, de manera tal que otras nuevas siempre están siendo introducidas en la población.

La simulación por computadora de este proceso reveló una interesante dinámica en el juego de normas. Al principio, los niveles de audacia cayeron dramáticamente debido a la vengatividad en la población. Luego, gradualmente, también la cantidad de vengatividad cayó porque no había ningún incentivo directo que recompensara el costo de ejecución de castigar una deserción. Una vez que la venganza se volvió rara, el nivel promedio de audacia se elevó otra

vez, y la norma colapsó por completo. Además, el colapso fue un resultado estable.

Este resultado condujo a una búsqueda de mecanismos que pudiesen sustentar una norma parcialmente establecida. Una posibilidad es la metanorma: el tratamiento del no castigo como si fuese otra forma de deserción; esto es, un jugador será vengativo contra alguien que observó una deserción pero no la castigó. La simulación de la evolución de las estrategias en este juego de metanormas demostró que los jugadores tenían un fuerte incentivo para incrementar su vengatividad para no ser castigados por otros, y esto a su vez condujo a una declinación de la audacia. De manera que las metanormas pueden promover y sustentar la cooperación en una población.

También otros mecanismos para el sustento de las normas son importantes. Estos incluyen el predominio, la internalización, la disuasión, la demostración social, la membresía, la ley y la reputación. En algunos casos, las normas resultantes son jerárquicas en lugar de igualitarias, y la cooperación exhibida es forzada antes que libremente ofrecida. Un buen ejemplo es la norma de la deferencia de los negros en el antiguo Sur.

Los procesos de predominio se han simulado subdividiendo a la población y haciendo que un segmento sea relativamente resistente a los efectos del castigo por parte de miembros del otro segmento. La internalización puede investigarse estudiando los efectos de hacer la deserción costosa en lugar de beneficiosa para algunos de los desertores y haciendo del castigo un placer en lugar de un costo para algunos de los observadores de una deserción. Un cambio más drástico en los procedimientos de modelado sería necesario para estudiar algunos de los otros mecanismos en cuestión.

Las normas son importantes en la sociedad y, cosa nada sorprendente, se les ha prestado mucha atención en las ciencias sociales, incluyendo la sociología, la antropología, las ciencias políticas, la psicología y la economía. Aunque abundan las descripciones de normas reales, las investigaciones sobre las razones por las cuales las personas obedecen o violan una determinada norma han sido mucho menos comunes. Incluso, entre las aproximaciones estratégicas a las normas, se ha dedicado una atención relativamente escasa a comprender la dinámica de las normas: cómo es posible ponerlas en vigor, cómo puede sustentarse una norma parcial y llegar a estar bien establecida, y cómo puede una norma desplazar a otra. Una aproximación evolutiva es útil para estudiar esta dinámica, porque puede ayudar a mostrar cómo cambian las estrategias en el tiempo como una función de su éxito relativo en un entorno siempre cambiante de otros jugadores que también están cambiando sus propias estrategias con la experiencia.

Una meta fundamental de investigar cómo se han establecido las normas cooperativas en las configuraciones societarias es una mejor comprensión de cómo promover normas cooperativas en configuraciones internacionales. Esto no es tan utópico como podría parecer, ya que las normas internacionales contra la esclavitud y el colonialismo ya son fuertes, mientras que las normas internacionales son parcialmente efectivas contra la discriminación racial, la guerra química y la proliferación de armas nucleares. Puesto que las normas en ocasiones se establecen de manera sorprendentemente rápida, puede haber algunas normas cooperativas útiles que puedan ser apresuradas con intervenciones relativamente modestas.

Referencias

ABREU, Dilip, David Pearce y Ennio Stacchetti (1985), *Optimal Cartel Equilibria with Imperfect Monitoring*, Minneapolis, University of Minnesota Institute for Mathematics and Its Applications.

AKERLOF, George A. (1980), "A Theory of Social Custom, of Which Unemployment May Be One Consequence", en *Quarterly Journal of Economics*, 94, pp. 749-775.

ALMOND, Gabriel y Sidney Verba (1963), *The Civic Culture*, Princeton, Princeton University Press.

ARKIN, William y Richard W. Fieldhouse (1985), "Focus on the Nuclear Infrastructure", en *Bulletin of the Atomic Scientists*, 41, pp. 11-15.

ASCH, Solomon E. (1951), "Effects of Group Pressure upon the Modification and Distortion of Judgment", en Harold Guetzkow (comp.), *Groups, Leadership and Men*, Pittsburgh, Carnegie Press, pp. 177-190.

—— (1956), "Studies of Independence and Conformity: I. A Minority of One Against a Unanimous Majority", en *Psychological Monographs*, 41, pp. 258-290.

AXELROD, Robert (1979), "The Rational Timing of Surprise", en *World Politics*, 31, pp. 228-246.

—— (1984), *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books. [Trad. esp.: *La evolución de la cooperación*, Madrid, Alianza, 1984.]

AXELROD, Robert y Robery O. Keohane (1985), "Achieving Cooperation Under Anarchy: Strategies and Institutions", en *World Politics*, 38, pp. 226-254.

BLACK-MICHAUD, Jacob (1975), *Cohesive Force: Feud in the Mediterranean and the Middle East*, Oxford, Basil Blackwell.

BRONFENBRENNER, Urie (1970), *Two Worlds of Childhood: U.S. and U.S.S.R.*, Nueva York, Russell Sage.

CANTRIL, Hadley (1941), *The Psychology of Social Movements*, Nueva York, Wiley.

CIALDINI, Robert H. (1984), *Influence –How and Why People Agree to Things*, Nueva York, Morrow.

CYERT, Richard M. y James G. March (1963), *A Behavioral Theory of the Firm*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

DAHL, Robert A. (comp.) (1966), *Political Oppositions in Western Democracies*, New Haven, Yale University Press.

DARLEY, John M. y C. Daniel Batson (1973), " 'From Jerusalem to Jerico': A Study of Situational and Dispositional Variables in Helping Behavior", en *Journal of Personality and Social Psychology*, 27, pp. 100-108.

FRIEDMAN, James W. (1971), "A Non-Cooperative Equilibrium for Supergames", *Review of Economic Studies*, 38, pp. 1-12.

FURUBOTN, Erik G. y Svetozar Pejovich (comps.) (1974), *The Economics of Property Rights*, Cambridge, Ballinger.

HARDIN, Garrett (1968), "The Tragedy of the Commons", en *Science*, 162, pp. 1243-1248.

HARDIN, Russell (1982), *Collective Action*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.

HOLLAND, John H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor, University of Michigan Press.

—— (1980), "Adaptative Algorithms for Discovering and Using General Patterns in Growing Knowledge Bases", en *International Journey of policy Analysis and Information Systems*, 4, pp. 245-268.

KEOHANE, Robert O. (1984), *After Hegemony: Cooperation and Discard in the World Political Economy*, Princeton, Princeton University Press.

KRASNER, Stephen D. (comp.) (1983), *International Regimes*, Ithaca, Cornell University Press.

KREHBIEL, Keith (1985), "Unanimous Consent Agreements: Going Along in the Senate", texto de trabajo nº 568, California Institute of Technology, Social Science Department.

KREPS, David M. y Robert Wilson (1982), "Sequential Equilibria", en *Econometrica*, 50: 863-894.

MATTHEWS, Donald R. (1960), *U.S. Senators and Their World*, Chapel Hill, University of North Carolina Press.

MEYERS, Samuel M. y William C. Bradbury (1968), "The Political Behavior of Korean and Chinese Prisoners of War in the Corean Conflict: A Historical Analysis", en Samuel M. Meyers y Albert D. Briderman (comps.), *Mass Behavior in Battle and Captivity, The Communist Soldier in the Korean War*, Chicago, University of Chicago Press.

OLSON, Mancur (1965), *The Logic of Collective Action*, Cambridge, Harvard University Press.

OPP, Karl-Dieter (1979), "Emergence and Effects of Social Norms – Confrontation of Some Hypotheses of Sociology and Economics", en *Kylos*, 32, pp. 775-801.

—— (1983), "Evolutionary Emergence of Norms", en *British Journal of Social Psychology*, 21, pp. 139-149.

ORBELL, John M., Peregrine Schwartz-Shea y Randall T. Simmons (1984), "Do Cooperators Exit More Readily than Defectors?", en *American Political Science Review*, 78, pp. 163-718.

SCHELLING, Thomas (1978), *Micromotives and Macrobehavior*, Nueva York, W.W. Norton.

SCHOTTER, Andrew (1981), *Economic Theory of Social Institutions*, Cambridge (Inglaterra), Cambridge University Press.

SCOTT, John F. (1971), *Internalization of Norms*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

SELTEN, R. (1975), "Reexamination of the Perfectness Concept for Equilibrium Points in Extensive Games", en *International Journal of Game Theory*, 4, pp. 25-55.

SHERIF, Muzafer (1936), *The Psychology of Social Norms*, Nueva York, Harper and Brothers.

SPENCE, A. Michael (1974), *Market Signalling*, Cambridge, Harvard University Press.

TRUMAN, Ben C. (1884), *Field of Honor: A Complete and Comprehensive History of Dueling in All Countries*, Nueva York, Fords, Howard and Hilbert.

ULLMANN-MARGALIT, Edna (1977), *The Emergence of Norms*, Oxford, Oxford University Press.

VEBLEN, Thorstein (1899), *The Theory of the Leisure Class*, Nueva York, Macmillan. [Trad. esp.: *Teoría de la clase ociosa*, México, FCE, 1974.]

4. Elegir bandos

Mi interés en cómo eligen bandos los actores políticos se retrotrae al menos a mis días como estudiante de posgrado en los años 60. Por ejemplo, mi tesis de doctorado sobre conflicto de intereses incluía un capítulo sobre la formación de coaliciones en las democracias parlamentarias. La idea básica era que los partidos políticos de diferentes ideologías podrían tener que trabajar juntos para alcanzar una mayoría gobernante, pero en ese caso buscan socios que causen tan poca tensión política como sea posible. En otras palabras, la política *minimiza* la extrañeza de los compañeros de cama. Esta idea era contraria a la opinión prevaleciente de que la formación de coaliciones se basa solamente en el número de bancas que cada partido sustenta sin importar sus políticas (Riker, 1962). Mi teoría funcionó bastante bien al predecir los miembros y la duración de las coaliciones italianas (Axelrod, 1970).

El caso italiano era relativamente fácil de analizar porque había una única dimensión ideológica izquierda-derecha en la que se alistaban los partidos. Por lo tanto, pude predecir que las coaliciones reales consistirían en una serie conectada de partidos en este espacio, y que no irían más lejos de lo necesario para conformar una mayoría en el parlamento. Aunque los detalles varían, la importancia de la afinidad ideológica para la formación de coaliciones se ha confirmado desde entonces en un amplio espectro de democracias parlamentarias (por ejemplo, Lijphart, 1981; Laver y Shepsle, 1996).

En 1986 visité por primera vez el Santa Fe Institute, un centro de investigación sobre la teoría de la complejidad. Por entonces se hablaba mucho sobre *spin-glasses*. El modelo *spin-glass* deriva de un problema en la física de la materia condensada. La idea es que cada átomo trata de alinear su rotación para que sea coherente con algunos de sus vecinos y opuesta a los otros (Anderson 1989; Waldrop, 1992: 138-39). Esto me recordó mi tema anterior de que los partidos políticos tratan de minimizar la extrañeza de sus compañeros de cama. Eso me dio la idea de que el modelo matématico de cómo "eligen" los átomos sus alineamientos magnéticos (o sus *spins*) podría ser de ayuda para pensar cómo eligen bandos los actores políticos. En ambos casos, muchos actores independientes tratan de alcanzar una alineamiento que minimice su frustración en

términos de las acciones acometidas por todos los otros actores.[1] Todo depende de todo lo demás, pero algunos resultados colectivos son más estables que los otros.

El modelo *spin-glass* también era importante para mí porque bajo ciertas circunstancias tenía una representación genética en términos de paisajes de energía. Los paisajes de energía eran muy similares a los paisajes de aptitud de la biología evolutiva a los que yo ya estaba acostumbrado. La representación geométrica de paisajes era valiosa porque el movimiento en paisajes tan abstractos sugería un modo de simular un modelo basado en los agentes acerca de cómo eligen bandos los agentes.

Me di cuenta de que si yo podía medir la afinidad de cada actor político para alinearse con cada uno de los otros, podría obtener predicciones acerca de qué alineamientos formarían realmente. Elegí el caso de las naciones europeas involucradas en la Segunda Guerra Mundial porque había suficientes actores independientes como para someter la teoría a una buena prueba. Scott Bennett, entonces un estudiante de posgrado, y yo desarrollamos un modo de medir la afinidad de cada par de naciones en términos de características que podrían compartir. También tomamos en cuenta el poder relativo de las naciones involucradas. Luego hicimos lo que equivalió a una simulación basada en los agentes en la que cada uno de los actores trataba de cambiar de bando si tenía más afinidad con la otra protocoalición. Nuestra predicción fue simplemente que el alineamiento sería uno de los pocos que se mantendrían estables en la simulación. La predicción realmente funcionó bien. Más aun, a medida que usábamos información acerca de las propensiones y el poder cada vez más cerca en el tiempo al momento del estallido de la guerra, la predicción resultaba ser cada vez mejor. Incluso dio cuenta del patrón contemporáneo de las actividades de realineamiento cuando se desintegró el Pacto de Varsovia.

Tal como se lo expone en el capítulo introductorio, el principal propósito de los modelos basados en los agentes no es la predicción sino una mejor comprensión de cómo operan procesos sociales fundamentales. En este caso, sin embargo, Scott y yo tuvimos la posibilidad de operativizar el modelo y utilizarlo para hacer predicciones específicas que se podrían confrontar con información histórica.

[1] En retrospectiva, veo que mi estudio sobre los estilos de toma de decisiones también empleaba la idea de la minimización de la tensión entre muchos elementos de un sistema de interacción. En el caso de la toma de decisiones, los elementos eran argumentos causales que conectaban variables aplicables a las políticas. Encontré que había una fuerte tendencia a que un artífice de políticas de elite presentara argumentos que no podían ser negociados. Esto eliminaba las incoherencias entre diferentes pasajes causales (Axelrod, 1976 y 1977).

Este trabajo tiene una interesante secuela en la que la misma teoría es empleada en una situación completamente diferente: las coaliciones de negocios. Esa historia es el capítulo 5.

Referencias

ANDERSON, Phillip W. (1989), "Spin Glass V: Real Power Brought to Bear", en *Physics Today*, julio, pp. 9-10.

AXELROD, Robert (1970), *Conflict of Interest*, Chicago, Markham.

—— (1977), "Argumentation in Foreign Policy Settings: Britain in 1918, Munich in 1938 and Japan in 1970", en *Journal of Concflict Resolution*, 21, pp. 727-756.

—— (comp.) (1976), *The Structure of Decision*, Princeton, Princeton University Press.

LAVER, Michael y Kenneth Shepsle (1996), *Making and Breaking Governments*, Nueva York, Cambridge University Press.

LIJPHART, Arend (1981), "Power-Sharing Versus Majority Rule: Patterns of Cabinet Formation in Twenty Democracies", en *Government and Opposition*, 16, pp. 395-413.

RIKER, William H. (1962), *The Theory of Political Coalitions*, New Haven, Yale University Press.

WALDROP, M. Mitchell (1992) *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, Nueva York, Simon and Schuster.

ELEGIR BANDOS
Una teoría paisaje de la agregación*

Robert Axelrod y D. Scott Bennett[1]

Resumen: *Agregación significa la organización de elementos de un sistema en patrones que tienden a poner juntos los elementos altamente compatibles y los elementos menos compatibles aparte. La teoría paisaje predice de qué manera la agregación conducirá al alineamiento entre actores (tales como las naciones), cuyos líderes son miopes en sus apreciaciones e incrementales en sus acciones. Las configuraciones predichas se basan en los intentos de los actores de disminuir su frustración a partir de sus propensiones de emparejamiento a alinearse con algunos actores y oponerse a otros. Estas tentativas llevaron a un mínimo local en el paisaje de energía del sistema total. La teoría está avalada por los resultados del alineamiento de diecisiete naciones europeas en la Segunda Guerra Mundial. La teoría tiene potencial para su aplicación en coaliciones de firmas de negocios y de partidos políticos en los parlamentos, en redes sociales, en escisiones sociales en las democracias y en estructuras organizativas.*

Este artículo presenta una teoría formal de la agregación, llamada teoría paisaje, y provee dos pruebas de la teoría. "Agregación" significa la organización de los elementos de un sistema en patrones que tiende a reunir los elementos altamente compatibles y a apartar los elementos menos compatibles. La teoría paisaje utiliza conceptos abstractos de la física y la biología que han demostrado ser útiles para el estudio de la dinámica de sistemas complejos. Estos conceptos proporcionan una

* Adaptado a partir de Robert Axelrod y D. Scott Bennett, "A Landscape Theory of Aggregation", en *British Journal of Political Science*, 23, abril de 1993, pp. 211-233. Reeditado con autorización.

[1] Por sus provechosas sugerencias los autores agradecen a Erhard Bruderer, Michael Cohen, John Holland, Will Mitchell, David Sanders, Carl Simon, Robert Thomas y a críticos anónimos. Este trabajo recibió el apoyo de las donaciones de la National Science Foundation SES 8808459 y SES 9106371.

manera de pensar acerca de las muchas maneras posibles en que los elementos de un sistema pueden encajar unos con otros, prediciendo cuáles configuraciones tienen más probabilidades de ocurrir, cuánta insatisfacción con el resultado es inevitable y cómo responderá el sistema a los cambios en la relación con los elementos. Aplicada a problemas políticos, económicos y sociales, la teoría paisaje puede utilizarse para analizar una amplia variedad de problemas de agregación que previamente se han considerado de manera aislada:

1. Alineamientos internacionales.
2. Alianzas de firmas de negocios para establecer estándars.
3. Coaliciones de partidos políticos en los parlamentos.
4. Redes sociales.
5. Escisiones sociales en las democracias.
6. Estructuras organizativas.

Para ser útil, una teoría de la agregación debería tener las siguientes propiedades:

a. La teoría debería proporcionar una explicación coherente de por qué en un determinado sistema se forman algunas agregaciones en particular (alianzas, coaliciones, estructuras organizativas, etcétera) y no otras.
b. La teoría debería iluminar la dinámica de la agregación para proporcionar una comprensión más profunda del proceso real involucrado así como del resultado final.
c. La teoría debería ser lo suficientemente general como para aplicarse a muchos dominios de la política y la sociedad.
d. La teoría debería ser lo suficientemente simple como para iluminar algunos aspectos fundamentales de la agregación.
e. La teoría debería poder ser operativizada de tal manera que sus predicciones puedan ser probadas.

Este ensayo busca demostrar que la teoría paisaje de la agregación ofrece excelentes expectativas de cumplir con estas cinco condiciones. En particular, este artículo ofrece la primera prueba empírica de una teoría del alineamiento en la política internacional. Para ello provee una nueva aproximación teórica a la dinámica de la agregación y es práctica en lo referente a la medición. La significación de la teoría paisaje es que puede proporcionar una comprensión más profunda de una amplia variedad de importantes procesos de agregación en la política, la economía y la sociedad. La manera como encajan los elementos de un sistema tiene implicancias importantes para cuestiones tan vitales como el

equilibrio de poder en la política internacional, el modo como las empresas en competencia pueden acordar para establecer estándares para sus productos, la construcción de coaliciones de gobierno entre partidos en las democracias parlamentarias y las maneras como los partidos políticos atraen a los votantes en una sociedad con escisiones superpuestas y atravesadas.

Utilizando un conjunto común de conceptos para explicar una variedad de temas distintos, la comprensión actual de cada tema puede ayudar a iluminar los otros. Por otra parte, al utilizar una teoría común, como la teoría paisaje, uno podría alcanzar una comprensión más profunda de aquello en lo cual el proceso de agregación en cada uno de estos dominios es similar a los otros y aquello en lo que difiere de los otros. Además de su significación puramente científica, la teoría paisaje puede usarse como una guía para las políticas. Por ejemplo, al ofrecer una explicación coherente de cuáles son los alineamientos internacionales que probablemente se formen, puede sugerir dónde aplicar eficientemente la influencia para cambiar de una configuración a otra. Para dar otro ejemplo, la teoría podría sugerir qué coaliciones políticas domésticas son inherentemente inestables y cuáles se harían estables si los subgrupos críticos pudiesen ser inducidos a hacer cambios menores.

La siguiente sección presenta formalmente la teoría paisaje, seguida de una sección sobre cómo se ha utilizado el concepto de un paisaje abstracto en las ciencias físicas y naturales. Luego se ofrece la operativización y prueba de la teoría para un caso de la política internacional. La penúltima sección muestra cómo se podría aplicar igualmente la teoría a otros cinco dominios. La sección final considera cómo pueden hacerse más rigurosos los fundamentos de la teoría paisaje.

Teoría paisaje

Esta sección explica los aspectos formales de la teoría, muestra cómo pueden ayudar los conceptos de este abordaje a iluminar un proceso de agregación y enumera las predicciones que pueden deducirse de la teoría.

La teoría paisaje predice cómo se alinearán los actores. Para ayudar a mantener la terminología lo más simple posible se utilizará el lenguaje de los alineamientos internacionales. La teoría tiene dos supuestos básicos, ambos basados en el reconocimiento de que es difícil para un liderazgo nacional apreciar el valor de cada alineamiento potencial. El primer supuesto es que una nación es miope en sus apreciaciones. En otras palabras, un liderazgo nacional evalúa cómo se lleva con cualquier otra nación, independientemente de todos

los otros miembros del sistema. Al hacer sólo evaluaciones de dos en dos, el liderazgo nacional evita el difícil problema de apreciar todas las combinaciones de naciones a la vez.

El segundo supuesto básico de la teoría paisaje es que por medio del movimiento incremental de las naciones individuales tienen lugar ajustes de alineamiento. Esto excluye la posibilidad de que se forme un alineamiento dentro de una coalición y luego cambie de lealtad en bloque. Este presupuesto es apropiado cuando la información referente a los réditos es incierta, lo que da por resultado una ambigüedad causal entre las acciones y los réditos del alineamiento, y un consecuente aumento en los costos de negociación y una reducción en la capacidad de las naciones de utilizar recompensas para llegar a una solución óptima.

La teoría paisaje comienza con un conjunto de *n actores* (por ejemplo, naciones). La *magnitud* de una nación, $m_i > 0$, es un reflejo de la importancia de ese país para los otros. La magnitud podría medirse por factores demográficos, industriales o militares, o una combinación de éstos, según lo que se considere importante en una determinada aplicación.

La premisa clave de la teoría paisaje es que cada par de naciones, *i* y *j*, tiene una *propensión*, p_{ij}, a trabajar juntas. El número de propensión es positivo y alto si las dos naciones se llevan bien y negativo si tienen muchas fuentes de conflicto potencial. Dicho de otro modo, la propensión es una medida de cuán dispuestas están las dos naciones a estar juntas en la misma coalición. Si un país tiene una fuente de conflicto con otro (tal como una disputa limítrofe), entonces el segundo país tiene la misma fuente de conflicto con el primero. Por lo tanto, la teoría supone que la propensión es simétrica, tal que $p_{ij} = p_{ji}$.

Una *configuración* es una partición de las naciones, esto es, una colocación de cada nación en una agrupación y sólo una. Un ejemplo es la situación de la posguerra en la que las naciones no neutrales de Europa se dividieron entre la OTAN y el Pacto de Varsovia. Una configuración específica, *X*, determina la *distancia*, d_{ij}, entre dos países cualesquiera, *i* y *j*. En la versión más simple de la teoría se supone que todos los países están en una entre dos agrupaciones posibles, de manera que podemos dejar que la distancia sea 0 si los dos países están en la misma agrupación, y 1 si los dos países están en agrupaciones diferentes. En otras situaciones, otras medidas de distancia serán las apropiadas en una configuración.[2]

[2] Por ejemplo, la distancia entre dos puestos de trabajo en una estructura de organización jerárquica puede tomarse como el número de estratos de la organización que es necesario ascender para alcanzar a un jefe común. Véase la exposición de las estructuras organizativas más adelante.

Utilizando la distancia y la propensión, es posible definir una medida para la *frustración:* cuán bien o pobremente satisface una determinada configuración las propensiones de un determinado país a estar cerca o lejos de cada uno de los otros países. Una nación, i, quiere cambiar de bando si la frustración es menor en el otro bando. La frustración de un país, i, en una configuración, X, equivale a

$$F_i(X) = \sum_{j \neq i} m_j p_{ij} d_{ij}(X) \quad (1)$$

donde m_j es la magnitud de j, p_{ij} es la propensión de i a estar cerca de j, y $d_{ij}(X)$ es la distancia desde i hasta j en la configuración X. La suma es tomada sobre todos los países excepto $j = i$. Nótese que la definición de frustración pesa las propensiones a trabajar con o contra otro país por la magnitud del otro país. Esto da cuenta del hecho de que una fuente de conflicto con un país pequeño no es tan importante para determinar los alineamientos como una fuente de conflicto equivalente con un país grande. Nótese que la frustración de un país se minimizará si éste está:

a. en la misma alianza con aquellos países con los cuales tiene una propensión positiva a alinearse, porque de otro modo $p_{ij} > 0$ y $d_{ij}(X) > 0$;
b. en una alianza diferente de aquellos países con los cuales tiene una propensión negativa a alinearse, porque esto haría que $d_{ij}(X) > 0$ cuando $p_{ij} < 0$.

Nótese también que la miopía presupuesta está integrada en la definición de frustración, porque la evaluación que un determinado país hace de una configuración depende de sus propensiones de emparejamiento con cada una de las otras naciones y no toma en cuenta ninguna interacción de un orden superior entre grupos de países.

El siguiente paso es definir la *energía*, E, de toda una configuración, X, como la cantidad sopesada de las frustraciones de cada nación en la configuración, donde los pesos son precisamente las magnitudes de las naciones. Esto da que la energía de una configuración es:

$$E(X) = \sum_i m_i F_i(X) \quad (2)$$

Substituir la definición de frustración en esta ecuación permite calcular la energía de la configuración en términos de la magnitud de los países, sus propensiones a trabajar juntos y sus distancias en una determinada configuración:

$$E(X) = \sum_{i,j} m_i m_j p_{ij} d_{ij}(X) \quad (3)$$

La suma es sobre todos los pares ordenados de los distintos países.

La fórmula para la energía de una configuración capta la idea de que la energía es más baja (y la configuración es mejor) cuando las naciones que quieren trabajar juntas están en la misma agrupación, y aquellas que quieren trabajar unas contra otras están en diferentes agrupaciones. La magnitud cuenta aquí porque tener una relación apropiada con un país grande es más importante que tener una relación apropiada con un país chico.

Una vez que se ha definido la energía, la abstracción empieza a dar recompensa. Dada la energía de cada configuración, es posible construir un *paisaje* de energía. El paisaje es simplemente un gráfico que tiene un punto para cada posible configuración y una altura sobre ese punto para la energía de esa configuración. La figura 4.1 muestra un ejemplo de un paisaje en el que cada punto en el plano en la parte baja de la figura indica una configuración específica y la superficie que se halla encima del plano representa la energía de esa configuración. Los puntos adyacentes en el paisaje son los que difieren en el alineamiento de una única nación. El paisaje tiene una dimensión para cada país, e indica en que alineamiento está. Dado que no es posible dibujar un hipercubo multidimensional, en la figura 4.1 hemos ofrecido en cambio una superficie conceptual (bidimensional).

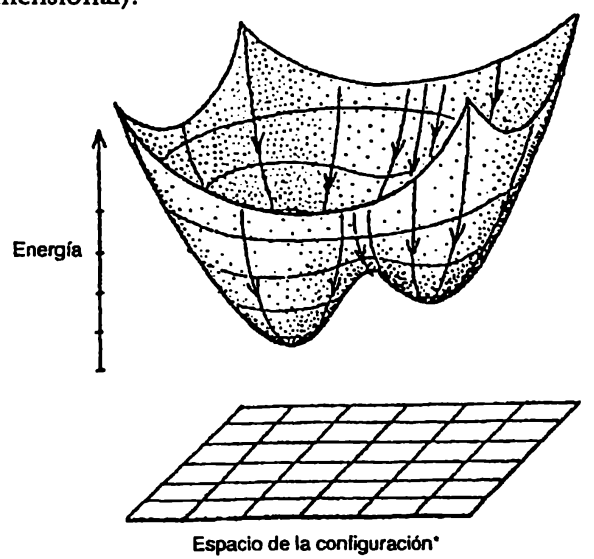

FIGURA 4.1. *Paisaje con dos óptimas locales.*
Fuente: Adaptado a partir de Abraham y Shaw, Dynamics The Geometry of Behavior. *Utilizado bajo autorización.*

* El espacio de la configuración es un hipercubo binario multidimensional. El hipercubo tiene una dimensión para cada actor, indicando en cuál de los dos alineamientos posibles está ese actor.

El presupuesto incremental permite hacer predicciones sobre la dinámica del sistema, y procura que sólo una nación cambiará de bando cada vez y lo hará para disminuir su propia frustración. Dado que la energía de una configuración es la suma de las frustraciones de las naciones individuales, cuando una nación disminuye su frustración, la energía de todo el sistema disminuye.[3] La reducción resultante en la energía significa que dondequiera que el sistema comience en el paisaje de energía, irá "cuesta abajo" hacia una configuración adyacente que tenga menor energía. Por ende, los cambios en los patrones de alineamiento sólo se detendrán cuando se ha alcanzado una configuración que es un mínimo local. Por ejemplo, en la figura 4.1 hay dos mínimos locales y, por lo tanto, dos configuraciones potencialmente estables. Aquí, estabilidad significa que la configuración (esto es, el patrón de alineamiento) ya no cambia más bajo las condiciones existentes.

La configuración estable que tendrá lugar depende de dónde se inicia el sistema. Por ejemplo, en la figura 4.1, cualquier configuración del lado izquierdo de la figura tiende a moverse hacia el punto bajo en el lado izquierdo, que viene a ser el mínimo local. Se puede pensar en todas las configuraciones que llevarían a este mínimo como la *cuenca de atracción* de ese mínimo.

Específicamente, las predicciones de la teoría paisaje son las siguientes:

1. A partir de una determinada configuración de inicio, ésta cambiará de acuerdo con el principio del movimiento hacia abajo hacia una configuración adyacente.
2. En consecuencia, las únicas configuraciones estables son aquellas que están en un mínimo local en el paisaje.
3. Con propensiones simétricas no puede haber ciclos de configuraciones (tales como desplazarse de X a Y, de Y a Z, y luego de nuevo a X).[4]

Una implicancia interesante de esta aproximación es que el equilibrio alcanzado no necesita ser una óptima global. Por ejemplo, en la figura 4.1 hay dos mínimas locales en las que el sistema puede establecerse. La mínima local de la derecha no es tan buena para satisfacer las propensiones de los países como lo es la de la izquierda. Por lo tanto, si el sistema fuese a iniciarse en el extremo derecho, se asentaría en una mínima local que no sería una mínima global.

[3] La simetría de las propensiones garantiza que si una nación reduce su frustración cambiando de bando, entonces la energía se reducirá para todo el sistema. Por una prueba, véase el capítulo 5, nota 9.

[4] Dado que todo cambio aceptable disminuye la energía del sistema, el sistema nunca puede regresar a una configuración previa.

Otra implicancia es que puede no haber *ninguna* configuración que satisfaga completamente a todos. Incluso para una configuración que fuera la óptima global, la mayoría o, incluso, todas las naciones pueden estar algo *frustradas*, en el sentido de que algunos "amigos" estarán en la agrupación opuesta y/o algunos "enemigos" estarán en la misma agrupación. Por ejemplo, si hay tres naciones que se desagradan mutuamente (como Israel, Siria e Irak), cualquier configuración bipolar dejará a alguien frustrado.

Una implicancia adicional es que la óptima local en la que el sistema se asienta puede depender de la historia del sistema. La historia temprana, que podría ser en parte la consecuencia de pequeños acontecimientos o, incluso, circunstancias fortuitas, puede determinar qué resultado prevalecerá. Por ende, el resultado puede ser en parte la consecuencia de un "accidente congelado", como lo es el teclado QWERTY (David, 1985). Una vez que el sistema se establece en una cuenca, puede ser difícil abandonarla. Además, si hay más de una óptima local, aquella en la cual se establece el sistema puede no ser la de energía más baja o la de menor frustración total (Arthur, 1988).

La teoría es relevante para las políticas en tanto que ilumina aquellos lugares en los que los cambios menores en la configuración inicial puede conducir a cambios mayores en la configuración final. Si uno empieza cerca de la frontera de dos cuencas de atracción, un movimiento pequeño al comienzo puede conducir a grandes cambios en el resultado final. Además, la altura del "paso" entre los valles da una magnitud de la "barrera de energía" que separa una cuenca de atracción de la otra y, por lo tanto, mide cuán difícil sería mover el sistema de una óptima local a otra.

Para resumir: la teoría paisaje comienza con magnitudes y propensiones de pares que se utilizan para calcular la energía de cada configuración posible y luego utiliza el paisaje resultante para hacer predicciones sobre la dinámica del sistema.

Paisajes abstractos en las ciencias físicas y naturales

La idea de un paisaje abstracto ha sido ampliamente utilizada en las ciencias físicas y naturales para caracterizar la dinámica de los sistemas. Originalmente fue desarrollada para estudiar la energía potencial en sistemas físicos y tuvo su primer desarrollo riguroso en el contexto de los sistemas hamiltonianos (véase Arnolod, 1978; Abraham y Shaw, 1983; Nicolis y Prigogine, 1989). En forma independiente, los biólogos han desarrollado los paisajes para caracterizar el movimiento evolutivo en un "paisaje de aptitud" abstracto de los genes (Wright,

1932; Kauffman, 1989: 527-618). Más recientemente, los paisajes de energía han sido empleados en inteligencia artificial para caracterizar la dinámica de sistemas complejos tales como las redes neuronales (véase Hopfield, 1982).[5]

La teoría paisaje de la agregación utiliza conceptos que han sido desarrollados a fondo por físicos y químicos bajo la etiqueta de "sistemas frustrados" o *spin-glasses* (Pines, 1985; Chowdury, 1986; Mezard, Parisi y Virasoro, 1987). Un examen simple es el modelo Ising, que estudia cómo los magnetos en un avión pueden alcanzar diversos alineamientos basados en su atracción o repulsión mutua (Wiedlick, 1971; Stein, 1989) Otra aplicación común es la estabilidad del alineamiento de las cadenas químicas (Nicolis y Prigogine, 1989). La teoría paisaje toma cuatro ideas clave de estas proposiciones: un conjunto de elementos tiene propensiones emparejadas para alinearse con cada uno de los otros de maneras específicas, cada posible configuración tiene una "energía", el paisaje resultante muestra todas las configuraciones posibles, y la dinámica del sistema puede predecirse a partir de las condiciones iniciales y la forma del paisaje. La teoría paisaje añade la posibilidad de medidas desiguales de las unidades y permite la operativización de las propensiones y distancias que son apropiadas a aplicaciones en las ciencias sociales. A diferencia de la teoría del *spin-glass*, la teoría paisaje no supone que las propensiones se determinan al azar. Recientemente, se han utilizado paisajes para explorar propiedades fundamentales de sistemas dinámicos. En particular, la teoría de la catástrofe estudia cómo pueden formarse y desaparecer las cuencas de atracción a causa de cambios en la forma del paisaje (Thom, 1975; Zeeman, 1977).

Los paisajes no se han usado ampliamente en la teoría de los juegos, pero algunas de las predicciones de la teoría paisaje pueden establecerse en términos de la teoría de los juegos. La teoría paisaje dice que las configuraciones estables son exactamente aquellas que se encuentran en el equilibrio de Nash. Lo que la teoría paisaje añade a la teoría de los juegos es una forma de caracterizar todas las configuraciones posibles y la dinámica entre ellas. En particular, la idea del descenso desde patrones menos satisfactorios a patrones más satisfactorios ayuda a caracterizar el espectro completo de posibilidades de una manera que a veces es oscura en el juego: los tratamientos teóricos de las situaciones multipersonales. Además, la idea de descenso no necesita ser justificada por una apelación a una toma de decisión racional perspicaz, sino que fácilmente puede ser resultado de un proceso en el cual cada actor responde a la situación actual con un intento miope de conseguir un mejoramiento local.

[5] En biología e inteligencia artificial, la polaridad del paisaje se invierte de manera que se piensa el mejoramiento como ascenso de colinas en lugar de descenso a valles.

Antes de abocarnos a algunas aplicaciones de la teoría paisaje de la agregación, habría que señalar que la agregación ha sido estudiada sin paisajes como un problema descriptivo en estadísticas. En las ciencias sociales, la técnica descriptiva más comúnmente utilizada es el análisis por núcleo *[cluster analysis]* (Aldendorfer y Blashfield, 1984; Duran y Odell, 1974; Kaufman y Rosseeuw, 1990). El análisis por núcleo ha sido descrito como "el arte de encontrar grupos en la información" (Kaufman y Rosseeuw, 1990: 1), y se lo utiliza "como una herramienta descriptiva o exploratoria, en contraste con las pruebas estadísticas que se llevan a cabo con propósitos deductivos o confirmatorios" (Kaufman y Rosseeuw, 1990: 37). A diferencia de la teoría paisaje, sin embargo, el análisis por núcleo no se basa en una teoría dinámica del comportamiento y no puede hacer predicciones.[6]

Predicción del alineamiento de la Segunda Guerra Mundial en Europa

En las relaciones internacionales, usualmente se estudia la agregación en el contexto de las alianzas. El abordaje dominante para explicar las alianzas internacionales es que los Estados forman alianzas primordialmente para resistir a la agresión de otros Estados poderosos. Basado en el paradigma realista, este comportamiento de balance supone un sistema internacional anárquico en el que todos los Estados ven a cada uno de los otros como un potencial enemigo. En la teoría paisaje, esto equivale a decir que todas las propensiones son iguales y negativas. Si todas las propensiones son negativas, la teoría paisaje predeciría como estable cualquier alineamiento donde las dos alianzas estén balanceadas en términos de magnitud, en tanto estas configuraciones están en una mínima local de energía. Si se interpreta la magnitud como poder, las predicciones de la teoría paisaje bajo supuestos realistas son precisamente alianzas de poder.

En realidad, cuando los Estados hacen elecciones de alineamiento toman en cuenta más que el simple poder. Walt (1987) desarrolla el neorrealismo mostrando que los Estados procuran el balance contra amenazas particulares. Snyder

[6] Otras técnicas que miden cuán buenas son las configuraciones particulares de acuerdo con criterios estáticos específicos basados en las relaciones de dos en dos incluyen el modelado de bloques *[blockmodeling]*, véase Baker (1986); en relación con la descomposición simplicial, véase Hearn, Lawphongpanich y Ventura (1985); en relación con la correspondencia y el análisis canónico, véase Wasserman, Faust y Galaskiewicz, (1989); en relación con una variedad de técnicas basadas en el análisis de factores incluyendo el análisis del espacio más pequeño y el mapeo no-lineal, véase Everitt (1978). También hay técnicas econométricas para analizar cómo se agregan variables en sistemas dinámicos a partir de subsistemas casi descomponibles: véase Simon y Ando (1961); Simon e Iwasaki (1988); Kydland (1975).

(1984) señala que los Estados tienen algunos intereses que afectan su comportamiento en relación con todos los otros países, como el deseo de estar militarmente seguros, pero también tienen conflictos y afinidades específicos con otros Estados basados en valores ideológicos, étnicos, económicos o de prestigio. Estos "intereses generales" e "intereses particulares" establecen un "patrón tácito de alineamiento" entre los Estados (Snyder, 1984: 464). Combinando estos intereses con el paradigma neorrealista, puede sostenerse que los "conflictos y comunalidades *[commonalities]*" de Snyder contribuyen a la amenaza que los Estados perciben de parte de los otros. Liska (1962: 27) llega a sugerir que la ideología y los sesgos históricos pueden impedir opciones de alineamiento "racional". En efecto, no es inusual para los expertos advertir que las opciones de alianza dependen tanto del poder como del interés.[7]

Desafortunadamente, los intereses y afinidades particulares no se han integrado todavía en un modelo coherente de los alineamientos. La teoría paisaje ofrece una manera de proporcionar esta integración al representar intereses divergentes en el concepto único de propensión, que se combina con la magnitud (poder) de los Estados para determinar resultados.

La teoría paisaje proporciona también una manera de superar una segunda limitación de algunos eminentes estudios de la alianza.[8] Estos estudios de la formación de alianzas hacen foco en las decisiones de los Estados individuales y, por lo tanto, no predicen el patrón general de la agregación en alianza. La teoría paisaje predice la configuración general tomando explícitamente en cuenta secuencias de acción del Estado para reducir la frustración hasta que se alcanza una mínima local.

Ahora aboquémonos a la operativización y prueba de la teoría paisaje tal como se aplica a los alineamientos internacionales. En cualquier aplicación, la operativización y prueba de la teoría paisaje requiere respuestas a cuatro preguntas:

1. ¿Quiénes son los actores?
2. ¿Cuáles son sus magnitudes?
3. ¿Cuáles son las predisposiciones entre cada par de actores?
4. ¿Cuál es el resultado real?

Las respuestas a estas preguntas dependen del dominio específico que se investiga. La operativización y prueba de la teoría para alineamientos internaciona-

[7] Véase Holsti, Hopmann y Sullivan (1973: 263-267), por un listado de hipótesis sobre formación de alianzas que van más allá del poder; véase también Morrow (1988).

[8] Por ejemplo, Altfeld y Bueno de Mesquita (1979); Altfeld (1984); Morow (1987); Walt (1987 y 1988).

les puede ilustrarse y probarse con el ejemplo de Europa en los años que precedieron a la Segunda Guerra Mundial. Este caso es una prueba apropiada de la teoría paisaje, incluso con el presupuesto de que los actores se limitan a formar parte de uno de dos alineamientos. En época de probabilidad de guerra, los Estados tienden a dividirse en dos grupos opuestos, pues, como señala Waltz (1979: 167), "el juego de la política de poder, si se lo juega realmente duro, empuja a los jugadores a dos campos rivales, aunque la cuestión de hacer y mantener alianzas es tan complicada que el juego puede ser jugado lo suficientemente duro como para producir ese resultado sólo bajo la presión de la guerra". El objeto de la prueba es predecir el alineamiento de naciones que realmente ocurrió durante la guerra. Los actores son las diecisiete naciones europeas que estuvieron envueltas en una acción diplomática importante en los años treinta.[9] La magnitud de cada nación se mide con el índice de capacidades del proyecto Correlatos de Guerra *[Correlates of War project]* (Singer, Bremer y Stuckey, 1972). El índice de capacidades nacionales combina seis componentes de poder demográfico, industrial y militar.

Como se ha señalado anteriormente, el poder no es el único factor que consideran los Estados cuando hacen opciones de alineamiento. Sin embargo, aunque el poder ha sido explorado en tanto afecta el alineamiento y el comportamiento de conflicto, no sabemos de ninguna tipología existente de intereses de Estado que nos permitiría crear una medida de las propensiones basadas en el interés. Aquí hemos intentado crear esa tipología. Dividimos los intereses de los Estados frente a otros Estados en asuntos étnicos, religiosos, territoriales, ideológicos, económicos e históricos. Creemos que esta tipología capta las fuentes principales de afinidades y diferencias entre los Estados, en tanto podrían afectar los cálculos estratégicos. Más específicamente, en cada díada en nuestra población medimos la presencia de conflicto étnico, la similitud de las religiones de las poblaciones, la existencia de un desacuerdo limítrofe, la similitud de los tipos de gobierno, y la existencia de una historia reciente de guerras entre los Estados.[10] Estos cinco factores se combinan con unidades iguales para proporcionar una

[9] Específicamente, los países seleccionados son las cinco potencias principales de Europa (Gran Bretaña, Francia, Alemania, Italia y la Unión Soviética) y los doce países que tenían un pacto de defensa formal o de neutralidad con cualquiera de ellas. Turquía no se consideraba parte de Europa. Dos países europeos estaban excluidos: Albania, porque no era independiente de Italia, y Bélgica, porque se retiró de su acuerdo de defensa con Francia en 1936. La información sobre cuál estaba aliado con cuál no fue utilizada en el análisis. Las fuentes de información sobre las alianzas son Singer y Small (1966) y Small y Singer (1969).

[10] Debido a las limitaciones de la información accesible, no hemos podido operativizar cuestiones económicas y el nivel de interdependencia económica en todas las díadas. Por lo tanto, hemos omitido simplemente esta categoría al calcular las propensiones.

medida de la propensión de cada par de naciones a trabajar juntas.[11] Utilizando los métodos arriba mencionados de medición de magnitudes y propensiones, se calculó la energía para cada una de las 65.536 configuraciones posibles.[12]

El comportamiento que se predice es el alineamiento de cada país en la Segunda Guerra Mundial. Esto se mide según si un país ha sido invadido por otro país, o si se le ha declarado la guerra.[13] Por este criterio, el alineamiento real de la Segunda Guerra Mundial en Europa fue Gran Bretaña, Francia, la Unión Soviética, Checoslovaquia, Dinamarca, Grecia, Polonia y Yugoslavia contra Alemania, Italia, Hungría, Estonia, Finlandia, Letonia, Lituania y Rumania. Portugal, que tenía un acuerdo de defensa con Gran Bretaña, fue neutral.

Al usar los datos de magnitud de 1936, el paisaje resultante tiene dos mínimas locales, que pueden denominarse Configuración 1 y Configuración 2. Estas dos configuraciones se muestran en el cuadro 4.1. Proporcionan las predicciones específicas de lo que sucedería cuando llegase la guerra. Los resultados son impactantes. La Configuración 1 fue casi el alineamiento exacto de la Segunda Guerra Mundial, con las excepciones de Polonia y Portugal que fueron incorrectamente colocados en el bando alemán. La Configuración 2 está mejor caracterizada como un alineamiento pro soviético versus antisoviético que consistía en la Unión Soviética, Grecia y Yugoslavia contra todos los demás.[14]

[11] Con n países, hay $n(n-1)/2$ propensiones pareadas. Para $n = 17$, hay 136 propensiones pareadas. Las propensiones se calculan de la siguiente manera: el conflicto étnico, el desacuerdo limítrofe o la historia reciente de guerra entre dos naciones se cuenta como –1 para cada una de sus propensiones. La similitud de religión se cuenta como + 1 en las categorías (católica, protestante, ortodoxa, musulmana y atea), y – 1 entre las categorías principales (cristiana, musulmana, atea), todas calculadas de acuerdo con las proporciones de cada religión en cada país. La similitud o diferencia del tipo de gobierno se consideró para dos países con gobiernos democráticos, fascistas o comunistas: + 1 si eran del mismo tipo y – 1 si eran de tipos diferentes. La fuente para los conflictos étnicos, los desacuerdos limítrofes, la historia de guerra y los tipos de gobierno es Kinder y Hilgemann (1978). La religión se da en el conjunto de información cultural del proyecto Correlatos de Guerra *[Correlates of War Project's Cultural Data Set]* para 1930 (versión de 7/90 preparada por Phil Schaefer). Seleccionar unidades iguales para los cinco factores de propensión es la forma menos arbitraria de combinarlos.

[12] Esto es, $2^{17}/2$. Cada país puede estar en uno de dos bandos posibles, pero el lado que se ha listado primero es arbitrario.

[13] Por ejemplo, Gran Bretaña le declaró la guerra a Alemania en 1939. Polonia primero fue invadida por Alemania y, por lo tanto, se la cuenta como habiéndose alineado en oposición a Alemania. Hungría y Rumania estaban aliadas con Alemania y en 1941 colaboraron en la invasión a la Unión Soviética.

[14] En la Configuración 2, Grecia y Yugoslavia se unen a la Unión Soviética en gran medida para evitar alinearse con Alemania, con la cual ambas tienen una historia de guerra.

CUADRO 4.1. *Las dos configuraciones predichas para la Segunda Guerra Mundial en Europa*

	Configuración 1	
Configuración 2	*Alineamiento 1*	*Alineamiento 2*
Alineamiento 1	Gran Bretaña (7,45)	Alemania (11,49)
	Francia (5,32)	Italia (4,03)
	Checoslovaquia (1,15)	Polonia (1,83)
	Dinamarca (0,20)	Rumania (0,78)
		Hungría (0,45)
		Portugal (0,27)
		Finlandia (0,19)
		Letonia (0,13)
		Lituania (0,10)
		Estonia (0,06)
Alineamiento 2	Unión Soviética (15,01)	
	Yugoslavia (0,59)	(Ninguno)
	Grecia (0,35)	
Coincidencia empírica más cercana[a]	Aliados (y los invadidos por Alemania)	El eje (y los invadidos por la Unión Soviética)

Nota: La magnitud se muestra entre paréntesis, en términos de porcentaje de las capacidades mundiales. Las predicciones se basan en datos de 1936.

[a] En la Configuración 1, sólo las predicciones para Polonia y Portugal están equivocadas.

¿Qué se hace con esto? En primer lugar, el resultado es estadísticamente significativo: la probabilidad de que una de entre sólo dos predicciones tendría no más de dos errores entre los diecisiete países objeto de la predicción es de menos de 1/200.[15] Además, la Configuración 1 tenía una cuenca de atracción que era de dos veces la magnitud de la otra mínima local (47.945 configuraciones contra 17.591), y por ello era más probable que ocurriera a partir de una situación de inicio al azar.[16] De modo que la configuración con la cuenca más grande de atracción estaba a tan sólo dos países (Polonia y Portugal) quitados del alineamiento real de la Segunda Guerra Mundial. Esta configuración tenía además la mínima global de energía. Y lo que es aun más importante: esta configuración explicaba correctamente los alineamientos de todas las naciones grandes así como de casi todas las pequeñas. En total, explicó un 96% de la magnitud total de los

[15] Hay 154 configuraciones que son tan o más precisas que la configuración que tuvo dos errores entre las diecisiete naciones objeto de predicción. Dado que se hicieron dos predicciones diferentes y hay más de $2^{17/2} = 65.536$ configuraciones, la posibilidad de que una de ellas fuera tan buena es de $2 \times (154/65.536) = 0,0047$.

[16] Para calcular la magnitud de la cuenca se utiliza el descenso más empinado en el paisaje de energía.

países, medidos según sus índices nacionales de capacidades de poder demográfico, industrial y militar.

Tal como la historia concluyó, las naciones no entraron en la cuenca más pequeña de atracción, aquella cuya mínima era esencialmente el alineamiento pro y antisoviético. Aunque ese resultado parece poco plausible dado lo que ahora sabemos que sucedió, probablemente no lucía tan poco plausible para quienes participaron en su hora.[17] El error al colocar a Polonia del lado alemán en la configuración globalmente óptima no es absurdo. La política exterior de Polonia era antagónica con sus dos poderosos vecinos, Alemania y la Unión Soviética. De hecho, aunque Alemania invadió Polonia primero, el 1° de septiembre de 1939, los soviéticos la invadieron sólo dieciséis días después. El error de colocar a Portugal del lado alemán (cuando en realidad permaneció neutral con simpatías probritánicas) podría atribuirse a medidas inadecuadas de la afinidad cultural y económica.[18]

Aunque la Configuración 1 estuvo muy cerca de lo que ocurrió, la Configuración 2 presenta una alternativa interesante, en la que la Unión Soviética se alineaba con Grecia y Yugoslavia contra todos los demás (véase el cuadro 4.1). En ambas configuraciones, Grecia y Yugoslavia se unen a la Unión Soviética en gran medida para evitar aliarse con Alemania, con la que ambos tienen una historia de guerra. Del mismo modo, en ambas configuraciones, Alemania y la Unión Soviética están en bandos opuestos. Casi todos tenían razones para evitar alinearse ya sea con Alemania o con la Unión Soviética. La diferencia clave es que las democracias y sus amigos se alinearon contra uno de estos dos grandes antagonistas en la primera configuración y se alinearon contra la otra en la segunda configuración.

El alineamiento real de la Segunda Guerra Mundial, por ende, se pudo predecir bastante bien para una fecha tan temprana como 1936 a través de la teoría paisaje, utilizando una medida de poder estándar y la medida de propensión

[17] Por ejemplo, recién en 1939, cuando la Unión Soviética invadió Finlandia, hubo algunas voces activas en Gran Bretaña y en Francia llamando a la intervención contra la Unión Soviética, a pesar del creciente consenso acerca de que Alemania era la amenaza mayor. Si Alemania no hubiese bloqueado el acceso invadiendo Noruega, esa acción contra los soviéticos no habría estado fuera de cuestión. Por cierto, la razón principal por la que Yugoslavia y Grecia se alinearan con la Unión Soviética en la Configuración 2 es que ambos tenían una historia de guerra con Alemania, y ningún problema serio con la Unión Soviética.

[18] El error de colocar a Polonia del lado alemán ocurrió porque a Polonia le disgustaba la Unión Soviética incluso más de lo que le disgustaba Alemania. Esto, a su vez, se debía en gran medida a la mayor magnitud (capacidades nacionales) de la Unión Soviética en 1936. Como se lo expone más abajo, este error fue eliminado hacia 1939, cuando Alemania movilizó sus fuerzas más rápido que la Unión Soviética. Portugal, que en realidad fue neutral, fue colocado incorrectamente del lado alemán porque ese lado era más favorable a la propensión religiosa católica de Portugal.

desarrollada más arriba. No obstante, es posible que la más simple aproximación "realista" también lo hiciera. La aproximación realista supone que todos los países, o al menos los mayores, se temen unos a otros. Esto puede operativizarse en términos de la teoría paisaje estableciendo que las propensiones pareadas son iguales y negativas, digamos de −1. Probamos el modelo realista y encontramos que funcionó pobremente. Un análisis de los diecisiete países todos con propensiones de −1 y la medida de magnitud especificada más arriba encontró no dos sino 209 configuraciones estables diferentes, pero ninguna era tan certera como la predicción de la teoría paisaje. Un análisis de las cinco grandes potencias con propensiones de −1 encontró cuatro configuraciones estables posibles, pero ninguna de ellas fue el resultado real de que Gran Bretaña, Francia y la Unión Soviética se alinearan contra Alemania e Italia. Parece que sin la información adicional proporcionada para saber qué cuestiones específicas étnicas, religiosas, territoriales, ideológicas e históricas existían entre los países en 1936, un modelo realista no tiene información adecuada para hacer predicciones provechosas. El problema básico con la aproximación realista es que sin suficiente información para distinguir diversos tipos de propensiones a alinearse de a pares, un gran número de alineamientos diferentes son igualmente plausibles.

También es posible que un análisis por núcleo de la matriz de propensiones pudiese haber revelado el alineamiento de la Segunda Guerra Mundial. Aunque el análisis por núcleo normalmente supone que los objetos que se nuclean tienen igual peso, para aproximarnos más al análisis de paisaje, creamos una matriz de disimilitud de propensiones medidas por magnitudes. Nucleamos esta matriz con una técnica jerárquica acumulativa estándar mediante el método promedio pargrupo sin medida (UPGMA [*unweighted pair-group average method*]) para computar las disimilitudes núcleo, que consideramos más apropiado para nuestros propósitos (Kaufman y Rosseeuw, 1990: 47-48). La solución de dos núcleos colocó a Grecia y la Unión Soviética contra todos los demás, similar a la segunda óptima encontrada por la teoría paisaje, pero no cercano a lo que ocurrió históricamente. Cuando nucleamos a las grandes potencias solamente, de manera similar el análisis colocó a la Unión Soviética en el bando opuesto a Gran Bretaña, Francia, Alemania e Italia.

De modo que parece que en un análisis estático, la teoría paisaje es superior a métodos alternativos de computación de alineamientos probables. Una prueba adicional puede surgir de la observación de que, a medida que la Segunda Guerra Mundial se aproximaba, las magnitudes relativas (esto es, las capacidades nacionales) de los países cambiaron, debido en gran medida a un rápido crecimiento de los gastos militares, especialmente en Alemania. Un interesante ejercicio es ver cómo cambian el paisaje y las predicciones a medida que estos

cambios en las capacidades nacionales son ingresados en los cálculos, llevándonos más cerca del momento en que la guerra realmente estalló.[19]

Para 1937, aparecen las mismas dos configuraciones que vimos para 1936, es decir, la Configuración 1, que es el alineamiento de la Segunda Guerra Mundial (excepto por Polonia y Portugal), y la Configuración 2, que es el alineamiento pro y antisoviético. En 1938, sin embargo, hay sólo una mínima local, que es nuevamente la Configuración 1. La Configuracieon 2 ya no es una mínima local. Esto coincide con el creciente consenso en Gran Bretaña de que la coordinación con la Unión Soviética podría volverse necesaria a pesar de la repugnancia al comunismo. En 1939, otra vez hay una sola mínima local, y es similar a la Configuración 1, sólo que ahora Polonia ha cambiado del bando antisoviético al bando antialemán. Esto coincide con la fuerza creciente de Alemania, que la hizo mucho más fuerte que la Unión Soviética hacia 1939.

En resumen, la teoría funciona muy bien para predecir el alineamiento europeo de la Segunda Guerra Mundial con información hasta 1936, pero lo hace aún mejor a medida que se usa información posterior. Hacia 1938, las predicciones se estrechan de dos a una, y hacia 1939 la predicción única es acertada para todos menos uno de los diecisiete países.[20] La posibilidad de que la predicción única de 1939 fuera correcta para dieciséis de los diecisiete países es menos de una en tres mil.[21] Además, las maneras como las predicciones de la teoría paisaje convergieron en el único resultado histórico correcto parece reflejar los cambios que realmente tuvieron lugar en los tardíos años treinta en Europa a medida que las naciones se movilizaban para la guerra.

Es notable que una teoría tan simple y una operativización tan parsimoniosa de sus conceptos puedan alcanzar una predicción que es muy cercana a lo que realmente pasó. Casi tan impactante es que desviaciones de lo que realmente pasó reflejan alternativas sostenibles del modo como la historia concluyó.

Sólo estamos enterados de otra predicción del alineamiento en la Segunda Guerra Mundial. Es la teoría de la opción racional de Altfeld y Bueno de Mesquita (1979), que predice cómo elegirán bandos las naciones una vez que la guerra

[19] El único cambio en los factores que intervino en las propensiones desde 1936 hasta 1939 fue que Rumania cambió de un gobierno democrático a un gobierno autoritario en 1938. Por ende, los cambios en el paisaje de 1936 a 1939 se debieron casi enteramente a los cambios en las capacidades nacionales de los diversos países a medida que se movilizaban para la guerra.

[20] Nótese que seis de estos países no estaban destinados a entrar en la guerra de un lado u otro por otro año o dos. En 1940, Hungría y Rumania se aliaron con Alemania, y Dinamarca y Grecia fueron invadidos. En 1941, Yugoslavia y la Unión Soviética fueron invadidos.

[21] Dado que hay 65.536 configuraciones diferentes, y sólo dieciocho de ellas son excluidas por cero o un país, la probabilidad de que ocurra un resultado tan bueno por casualidad es de 18/65.536 = 0,00027.

está en marcha. A diferencia de la teoría paisaje, que utiliza el comportamiento de alianza sólo para identificar a los Estados activos, el modelo Altfeld y Bueno de Mesquita utiliza las alianzas para identificar las utilidades de los Estados y basa sus predicciones sobre el alineamiento en guerra en esos patrones de alianzas. Los datos utilizados por la teoría paisaje (tales como las diferencias ideológicas y religiosas) van mucho más atrás en la cadena causal para predecir el alineamiento en tiempo de guerra que los datos de alianza. Además, el modelo de Altfeld y Bueno de Mesquita sólo predice los acontecimientos después del estallido de la guerra (por ejemplo, evitando tener que predecir que Alemania y Polonia están en bandos opuestos), mientras que la teoría paisaje sólo utiliza datos anteriores al estallido de la guerra, incluso de años antes. Otra diferencia es que el modelo de Altfeld y Bueno de Mesquita evalúa sus predicciones sólo para países que entraron en guerra en los primeros dos meses del estallido, mientras que la teoría paisaje hace predicciones para todos los países diplomáticamente activos. Una limitación mayor del modelo de Altfeld y Bueno de Mesquita es que requiere información sobre los alineamientos reales en tiempo de guerra para hacer cualquier predicción porque necesita esta información para estimar el impacto relativo de los componentes de las ecuaciones de utilidad esperada. Por otra parte, el modelo de Altfeld y Bueno de Mesquita es superior en otros aspectos, ya que admite la neutralidad y es aplicable con muy pocas modificaciones a guerras a lo largo de un extenso período de tiempo (1816-1965). En términos de resultados, el modelo de Altfeld y Bueno de Mesquita falló al no predecir que Gran Bretaña y Francia entrarían en guerra contra Alemania, y en cambio predijo que ambos permanecerían neutrales. El modelo paisaje predijo la actuación de Gran Bretaña y Francia correctamente, así como la de otros países que no se vieron envueltos en el conflicto por varios años.

Dado el éxito de la teoría paisaje en predecir a todas las potencias mayores, y a casi todas las menores también, a continuación aplicamos la teoría paisaje a la situación fluida de Europa en 1990 para ver lo que predeciría después de que la Unión Soviética dejara de imponer su voluntad en Europa del Este. El análisis utilizó los diecinueve países europeos que eran miembros de la OTAN o del Pacto de Varsovia en 1989, tomando en cuenta la unificación de Alemania, pero no la subsecuente desintegración de la Unión Soviética. La operativización utilizó la misma medida de magnitud que antes. No obstante, hay dos cambios en las operativizaciones de las propensiones. Primero, dado que virtualmente todos los gobiernos europeos son o aspiran a ser democracias orientadas al mercado, la ideología fue abandonada como un factor que contribuye a la propensión. Segundo, las relaciones económicas se incluyeron como un factor en la propensión,

medidas por la pertenencia recíproca en el Mercado Común.[22] Comenzando por el alineamiento Este–Oeste en 1989 (no óptimo), la teoría paisaje hizo la predicción única de que la Unión Soviética sería abandonada por todos sus antiguos aliados europeos excepto Bulgaria. Los acontecimientos previos al colapso de la Unión Soviética sugieren que esto era en efecto lo que estaba teniendo lugar. En 1991, Polonia, Checoslovaquia y Hungría buscaron una relación formal con la OTAN, y la OTAN los invitó a unirse a un nuevo Consejo de Cooperación del Atlántico Norte *[North Atlantic Cooperation Council].*[23] Sólo Rumania no actuó de la manera que se predijo antes de la ruptura de la Unión Soviética. (La probabilidad de que ocurra un solo error al azar con estos numerosos países es menos de una en mil.) En términos de magnitud, las predicciones dieron cuenta correctamente del 97% de las capacidades nacionales del sistema. En suma, la teoría paisaje predijo correctamente que la ruptura del Pacto de Varsovia daría por resultado que la mayoría de los aliados de la Unión Soviética buscaría unirse al alineamiento occidental y que ninguno de los miembros de la OTAN buscaría dejarla. Aunque esto puede no ser sorprendente, muestra que una teoría que funcionó para los años treinta puede funcionar también para los noventa.

Otras aplicaciones potenciales

Alianzas de negocios

En economía, la principal aproximación a la formación de alianzas es calcular y comparar los "valores de la estructura de coalición" para cada configuración posible (Owen, 1977) y luego utilizar un análisis estándar de la teoría de juegos para determinar tanto la configuración de alianza que es probable que emerja como la estabilidad de cada configuración. Desafortunadamente, el marco del valor de la estructura de coalición es difícil de aplicar a información empírica porque requiere identificar y cuantificar los réditos para cada actor en todas las configuraciones concebibles. A diferencia de la confianza de la teoría paisaje en

[22] Por ende, la pertenencia recíproca en la CEE añadió un punto a las propensiones de un par de esos países. Debido a una limitada accesibilidad de información de los países del ex bloque del Este, no se puede acceder a una medida más precisa de la interdependencia económica. La historia de guerra se basó en la Segunda Guerra Mundial; se consideró que Italia no tenía una historia de guerra con nadie porque combatió en ambos bandos. Una fuente adicional para la codificación de conflictos étnicos es Larrabee (1990/91). Se disponía de información de magnitud correspondiente a 1985. Para simplificar los cálculos, el Benelux fue tratado como un país y España/Portugal como otro.

[23] *New York Times*, 11 de noviembre de 1991 y 11 de junio de 1992.

las propensiones pareadas, los réditos para cada firma dependen de maneras complejas de las elecciones hechas por todas las firmas. Por ejemplo, en el caso del establecimiento de estándares, la magnitud del mercado variará con el número de estándares, y la parte del mercado de una determinada firma variará (entre otros factores) según cuán rápido pueda la firma poner un producto en el mercado en relación con las otras firmas. No casualmente, no ha habido una sola prueba del abordaje de los valores de la estructura de coalición para el problema del establecimiento de estándares.

La teoría paisaje, por otro lado, se presta a la prueba empírica en un marco de negocios. El capítulo 5 demuestra cómo la teoría paisaje puede ser aplicada a la pelea entre nueve firmas por el establecimiento de un estándar técnico.

Coaliciones de partidos políticos en los parlamentos

La mayoría de las democracias tienen un sistema parlamentario en el que los partidos políticos deben formar una coalición de mayoría a fin de gobernar. Se han propuesto al menos catorce teorías para explicar cuáles serán las coaliciones que se formen en los hechos, y la investigación empírica en una veintena de países muestra que las distancias ideológicas entre los partidos ayudan a explicar los resultados (DeSwaan, 1973). Hay información disponible sobre centenares de coaliciones en total. Aunque la mayoría de los estudios sólo utilizan mediciones ordinales de la distancia ideológica, también está disponible la medición de niveles de intervalos (Morgan; Laver y Schonfield, 1990; Laver y Hunt, 1992). Si la distancia ideológica entre dos partidos cualesquiera es considerada como inversamente proporcional a su propensión a trabajar juntos, la teoría paisaje ofrece una manera natural de predecir coaliciones parlamentarias.

Redes sociales

Los sociólogos describen las redes sociales basándose en las relaciones entre pares de individuos. Un ejemplo clásico es la Western Electric Bank Wiring Room, con catorce hombres que tienen cada uno de ellos seis tipos de vínculos sociales (Homans, 1950; Carrington y Heil, 1981). Otros ejemplos son la información detallada sobre la selección de un delegado de los estudiantes en el MIT (Carley, 1986) y la información dinámica sobre las redes de amistad (Newcomb, 1961). Dada la información sobre las propensiones pareadas de los individuos a ser amigos, la teoría paisaje ofrece una manera natural de predecir cómo formará núcleos de amistades una cantidad de personas.

Escisiones sociales en las democracias

Las escisiones sociales basadas en las etnias, la raza, la religión, la clase, etcétera, existen en todas las sociedades, aunque las escisiones de mayor importancia difieren de una sociedad a otra. En una democracia, los partidos políticos, típicamente, tratan de construir coaliciones electorales en parte prestando mucha atención a los asuntos que convocan a los que están en uno u otro lado de estas escisiones. En consecuencia, la estructura de las coaliciones electorales y la estabilidad de un sistema político dependen, en parte, de si las mayores escisiones en una sociedad se refuerzan recíprocamente o si se intersecan (Ross, 1920; Dahl, 1967). La teoría de la escisión tiene una amplia aplicación, desde los debates alrededor de la redistribución de los distritos en los Estados Unidos a las perspectivas de supervivencia de un Estado multinacional como la Unión Soviética.

La teoría paisaje ofrece una manera de formalizar la teoría de la escisión y relacionarla con otras teorías de la coalición. Para aplicar la teoría paisaje a las escisiones sociales, las propensiones de los grupos a aliarse podrían basarse en sus conflictos de intereses entre pares. Por ejemplo, desde la década de 1930 hasta por lo menos la de 1960, los negros y los católicos en los Estados Unidos compartieron muchos intereses políticos y, por lo tanto, un partido político podría convocar a los dos grupos de manera eficiente. Para explicar un alineamiento como la New Deal Coalition, la teoría paisaje necesitaría extenderse para admitir que cada grupo pertenezca a una coalición hasta cierto grado en lugar de completamente o en absoluto. Con esta extensión, la teoría paisaje podría predecir cómo afectarían los cambios en las propensiones pareadas entre los grupos a las coaliciones electorales resultantes. Por ejemplo, podría plantear la pregunta de si en un determinado sistema bipartidario hay una única configuración de coalición electoral "natural" en cada punto del tiempo. También podría caracterizar las condiciones bajo las cuales las coaliciones electorales cambiarían rápidamente de una mínima local a otra dando por resultado las así llamadas "elecciones críticas" (Burnham, 1970).

La teoría paisaje también podría comparar las estructuras de escisión de diferentes sociedades para analizar hasta qué grado el patrón de escisión de cada país tiene por resultado un "sistema frustrado" (véase Lipset y Rokkan, 1967). Una característica importante de la teoría de la escisión es que postula que los sistemas democráticos son realmente más estables si sus escisiones tienen por resultado un sistema frustrado. La razón es que cuando las escisiones se intersecan, poca gente estará completamente insatisfecha.

Estructuras organizativas

Un principio importante en la teoría de las organizaciones es que una organización eficiente está estructurada de tal manera que los cargos que requieren una interacción frecuente están colocados uno cerca del otro en la estructura de la organización (Thompson, 1967). En la teoría paisaje, la propensión de dos cargos a estar cerca entre sí puede medirse por su tasa natural de interacción. La distancia entre dos cargos en una determinada estructura organizativa puede considerarse como el número de estratos de la organización que es necesario ascender para alcanzar un jefe común. La teoría paisaje podría ayudar a explicar cómo es que las organizaciones pueden tener dos configuraciones estables completamente diferentes, como cuando el Departamento de Estado puede exponerse según sus líneas funcionales o según sus líneas geográficas.

Conclusión

La teoría paisaje es capaz de predecir alineamientos internacionales. También ofrece aplicaciones a las alianzas de negocios, las coaliciones parlamentarias, las redes de amistad, las escisiones sociales y las estructuras organizativas.

Para perfeccionar los fundamentos de la teoría paisaje, serían útiles dos actividades. Primero, la forma funcional particular que toma la teoría debería justificarse en términos rigurosos. Una manera de hacerlo sería desarrollar un conjunto formal de axiomas acerca del modo como los actores de racionalidad limitada se comportan en situaciones que permiten la agregación. Los axiomas podrían especificar cómo es utilizada por los actores la información sobre la magnitud y la propensión al hacer sus elecciones miopes y cómo se realizan las opciones de manera incremental. Axiomas adicionales especificarían las formas admisibles de agregación y la simetría de las propensiones. Con estos axiomas se debería poder demostrar que la fórmula para la energía de una configuración es la apropiada, que la dinámica del sistema debe corresponder a una disminución en la energía y que los únicos puntos estables del sistema son las configuraciones que tienen una energía localmente mínima. Además, ese conjunto de axiomas sería útil al mostrar cómo se relaciona la teoría paisaje con otras teorías de la opción y cómo las variaciones en la teoría paisaje podrían conducir a otras dinámicas.

Los fundamentos de la teoría paisaje podrían perfeccionarse también proporcionando una guía sobre cómo deberían operativizarse los conceptos de la teoría en una aplicación particular. Tener un conjunto de ideas bien desarrolladas sobre el modo como debería medirse la propensión sería particularmente

provechoso. Obviamente, los detalles de la medición de la propensión variarán de una aplicación a otra. Sin embargo, es probable que el uso de un número limitado de factores para determinar todas las propensiones pareadas sea ampliamente aplicable. De modo que sería de mucha ayuda desarrollar alguna guía sobre cómo deberían escogerse estos factores, y cómo deberían ser codificados y combinados. Un ejemplo de esta guía es el siguiente: si hay características complementarias de actores que permiten externalidades positivas a partir de la acción conjunta, esas características complementarias deberían incluirse como uno de los factores, y ese factor debería ser codificado de manera que los actores que son disímiles en este sentido tengan una propensión positiva a trabajar juntos.

Para apreciar la orientación general de la teoría paisaje, será de ayuda una analogía con la investigación sobre el Dilema del Prisionero. El valor del Dilema del Prisionero no es sólo que da predicciones acertadas, sino que conduce a una comprensión más profunda de los procesos políticos, tales como el modo en que la sombra del futuro es esencial para la cooperación entre egoístas. Del mismo modo, el pretendido valor de la teoría paisaje no está solamente en proporcionar predicciones acertadas, sino en conducir a una comprensión más profunda de los procesos de agregación, tales como el modo en que un paisaje de energía puede determinar cuáles son las configuraciones estables. Así como el Dilema del Prisionero nos ayuda a ver importantes similitudes en un amplio espectro de aplicaciones, la teoría paisaje nos ayuda a ver cómo los procesos de agregación en diferentes áreas tienen de hecho una sorprendente similitud cuando se los considera con la ayuda de un marco teórico común.

Referencias

ABRAHAM, Ralph y Christopher Shaw (1983), *Dynamics. The Geometry of Behavoir*, Santa Cruz (EE.UU.), Aerial, Press.

ALDENDERFER, Mark S. y Roger K. Blashfield (1984), *Cluster Analysis*, Beverly Hills, Sage.

ALTFELD, Michael F. y Bruce Bueno de Mesquita (1979), "Choosing Sides in War", en *International Studies Quarterly*, 37, pp. 523-544.

ARNOLD, Vladimir Igorevich (1978), *Mathematical Methods of Classical Mechanics*, Nueva York, Springer.

ARTHUR, W. Brian (1988), "Self Reinforcing Mechanisms in Economics", en P. W. Anderson, K. J. Arrow y D. Pines (comps.), *The Economy as an Evolving Complex System*, Reading, Addison-Wesley.

BURNHAM, Walter Dean (1970), *Critical Elections*, Nueva York, Norton.

CARLEY, Kathleen (1986), "An Approach for Relating Social Structure to Cognitive Structure", en *Journal of Mathematical Sociology*, 12, pp. 137-189.

CARRINGTON, Peter y Greg H. Heil (1981), "Coblock: A Hierarchical Method for Blocking Network Data", en *Journal of Mathematical Sociology*, 8, pp. 103-131.

CHOWDHURY, Debashish (1986), *Spin Glasses and Other Frustrated Systems*, Princeton, Princeton University Press.

DAHL, Robert A. (1967), *Pluralist Democracy in the United States*, Chicago, Rand McNally.

DAVID, Paul (1985), "Clio and the Economics of QWERTY", en *American Economics Review Proceedings*, 75, pp. 332-337.

DESWANN, Abraham (1973), *Coalition Theories and Cabinet Formation*, San Francisco, Jossey-Bass.

DURAN, Benjamin y Patrick L. Odell (1974), *Cluster Analysis*, Berlín, Springer-Verlag.

EVERITT, Brian (1978), *Graphical Techniques for Multivariate Data*, Londres, Heineman Educational Books.

HEARN, D. W., S. Lawphongpanich y J. A. Ventura (1985), "Finiteness in Restricted Simplicial Decomposition", en *Operations Research Letters*, 4, pp. 125-130.

HOLSTI, Ole R., Terence Hopmann y John D. Sullivan (1973), *Unity and Desintegration in International Alliances: Comparative Studies*, Nueva York, Wiley.

HOMANS, George C. (1950), *The Human Group*, Nueva York, Harcourt Brace.

HOPFIELD, John J. (1982): "Neutral Networks and Physical Systems with Emergent Computational Abilities", en *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 79, pp. 2254-2258.

KAUFFMAN, Stuart A. (1989), "Adaptation of Rugged Fitness Landscapes", en Daniel L. Stein (comp.), *Lectures on the Sciences of Complexity*, 1, Redwood City, Addison-Wesley.

KAUFMAN, Leonard y Peter J. Rousseeuw (1990), *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, Nueva York, Wiley.

KINDER, Hermann y Werner Hilgemann (1978), *The Anchor Atlas of World History*, vol. II, Nueva York, Anchor Press.

KYDLAND, Finn (1975), "Hierarchical Decomposition in Linear Economics Models", en *Management Science*, 21, pp. 1029-1039.

LARABEE, Stephen F. (1990-1991), "Long Memories and Short Fuses, Change and Instability in the Balkans", en *International Security*, 15, pp. 58-91.

LAVER, Michael y Norman Schofield (1990), *Multiparty Government: The Politics of Europe*, Oxford, Oxford University Press.

LAVER, Michael y W. Ben Hunt (1992), *Policy and Party Competition*, Nueva York, Routledge.

LIPSET, Seymour M. y Stein Rokkan (1967), *Party Systems and Voter Alignements: Cross-National Perspectives*, Nueva York, The Free Press.

LISKA, George (1962), *Nations in Alliance*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.

MEZARD, Marc, Giorgio Parisi y Miguel Ángel Virasoro (1987), *Spin Glass Theory and Beyond*, Singapur, World Scientific.

MORGAN, Michael-John (s.f.), "The Modeling of Government Coalition Formation", tesis doctoral, Departamento de Ciencias Políticas, University of Michigan.

MORGENTHAU, Hans J. (1956), *Politics Among Nations*, Nueva York, Alfred A. Knopf.
MORROW, James D. (1987), "On the Theoretical Basis of a Measure of National Risk Attitudes", en *International Studies Quarterly*, 31, pp. 423-438.
MORROW, James D. (1988), "Social Choice and System Structure in World Politics", en *World Politics*, 41, pp. 75-97.
NEWCOMB, Theodore M. (1961), *The Acquaintance Process*, Nueva York, Holt, Rinehart & Winston.
NICOLIS, Gregoire e Ilya Prigogine (1989), *Exploring Complexity. An Introduction*, Nueva York, Freeman.
OWEN, Guillermo (1977), "Values of Games with a Priori Unions", en R. Hein y O. Moeschlin (comp.), *Essays in Mathematical Economies and Game Theory*, Nueva York, Springer-Verlag, pp. 77-88.
PINES, David (comp.) (1985), *Emerging Synthesis in Science*, Santa Fe (EE.UU.), Santa Fe Institute, 1985.
ROSS, Edward Alsworth (1920), *The Principles of Sociology*, Nueva York, Century.
SIMON, Herbert A. y Albert Ando (1961), "Aggregation of Variables in Dynamic Systems", en *Econometrica*, 29, pp. 111-138.
SIMON, Herbert A. y Yuma Iwasaki (1988), "Causal Ordering, Comparative Statics, and Near Decomposability", en *Journal of Econometrics*, 39, pp. 149-173.
SINGER, David J., Stuart Bremer y John Stuckey (1972), "Capability Distribution, Uncertainity and Major Power War, 1920-1965", en Bruce Russett (comp.), *Peace, War, and Numbers*, Beverly Hills, Sage, pp. 19-48.
SINGER, J. David, y Melvin Small (1966), "Formal Alliances, 1815-1939", en *Journal of Peace Research*, 3, pp. 1-31.
SMALL, Melvin y J. David Singer (1969), "Formal Alliances, 1815-1965: An Extension of the Basic Data", en *Journal of Peace Research*, 6, pp. 257-282.
SNYDER, Glenn H. (1984), "The Security Dilemma in Alliance Politics", en *World Politics*, 36, pp. 461-495.
STEIN, Daniel L. (1989), "Disordered Systems: Mostly Spin Glasses", en Daniel L. Stein (comp.), *Lectures on the Sciences of Complexity*, 1, Redwood, Addisson-Wesley, pp. 301-353.
THOM, Rene (1975), *Structural Stability and Morphogenesis*, Reading, W. A. Benjamin.
THOMPSON, James D. (1967), *Organizations in Action*, Nueva York, McGraw-Hill.
WALT, Stephen M. (1987), *The Origin of Alliances*, Ithaca, Cornell University Press.
WALT, Stephen M. (1988), "Testing Theories of Alliances Formation: The Case of Southwest Asia", en *International Organization*, 42, pp. 275-316.
WALTZ, Kenneth N. (1979), *Theory of International Politics*, Reading, Addison-Wesley.
WASSERMAN, Stanley, Katherine Faust y Joseph Galaskiewicz (1989), "Correspondence and Canonical Analysis of Relational Data", en *Journal of Mathematical Sociology*, 11, pp. 11-64.
WAYNE, Baker (1986), "Three-Dimensional Blockmodels", en *Journal of Mathematical Sociology*, 12, pp. 191-223.
WEIDLICK, W. (1971), "Statistical Description of Polarization Phenomena in Society",

en *British Journal of Mathematical Statistical Psychology*, 24, pp. 251-266.

WRIGHT, Sewell (1932), "The Roles of Mutation, Imbreeding, Crossbreeding and Selection in Evolution", en *Proceeding of the International Congress of Genetics*, 1, pp. 356-366.

ZEEMAN, E. C. (1977), *Catastrophe Theory*, Reading, Addison-Wesley.

5. Establecimiento de estándares

Dos profesores en la Escuela de Negocios de Michigan, Will Mitchell y Robert Thomas, me oyeron dar una charla sobre mi teoría paisaje con su aplicación al alineamiento en tiempo de guerra (capítulo 4). Dijeron que les recordaba a los alineamientos estratégicos entre compañías. Me preguntaron si yo estaría interesado en ver si la teoría funcionaba en una situación comercial. Así que Scott Bennett y yo nos unimos a Will Mitchell, Robert Thomas y uno de sus estudiantes de posgrado, Erhard Bruderer, para ver qué pasaría si aplicábamos la misma teoría a un caso de negocios.

Escogimos el caso de nueve compañías de computadoras que estaban formando alianzas competitivas, buscando cada una establecer los estándares para el sistema operativo UNIX. La capacidad de imponer estándares técnicos en una tecnología emergente a menudo es la clave de su éxito comercial. El caso UNIX era importante por su propio derecho, y también era una buena ilustración de los problemas fundamentales involucrados en la importante área del establecimiento de estándares técnicos. El caso también era bueno para probar la teoría paisaje porque involucraba a varias compañías diferentes. Y otra vez funcionó.

Me gustaría poder decir que estos dos ensayos que aplican la teoría paisaje fueron bien recibidos. En realidad, ambos suscitaron desacuerdos en cuanto fueron publicados. Una dificultad primaria fue que algunos de los comentaristas no se acostumbraban a la idea de que una aproximación que no se basara en la teoría de los juegos pudiera ser de utilidad para una comprensión del modo como los actores toman decisiones estratégicas. Los comentaristas preferían una explicación racional a una que estuviera motivada por actores con una racionalidad limitada. Es verdad que las opciones estratégicas podrían ponerse en términos de la teoría de los juegos utilizando el concepto de los equilibrios de Nash. De hecho, revisamos la descripción del caso de negocios para destacar este hecho. El punto, sin embargo, es que virtualmente todo el poder de la teoría paisaje está en la determinación de las preferencias (o afinidades) antes que en la justificación de la opción estratégica. La teoría de los juegos, por supuesto, supone que las preferencias están dadas, y no le

preocupa de dónde provienen. En efecto, se requiere algo así como un cambio de paradigma para imaginar a las naciones o a las firmas de negocios eligiendo bandos de acuerdo con la compatibilidad con las otras en lugar de hacerlo basándose en cálculos estratégicos prospectivos.

ESTABLECIMIENTO DE ESTÁNDARES

Formación de coaliciones en las alianzas de fijación de estándares*

Robert Axelrod, Will Mitchell,
Robert E. Thomas, D. Scott Bennett y Erhard Bruderer

Resumen: *Presentamos una teoría para predecir cómo forman alianzas las firmas de negocios para desarrollar y auspiciar estándares técnicos. Nuestros supuestos básicos son que la utilidad de una firma para unirse en una particular alianza de fijación de estándares se incrementa con la magnitud de la alianza y disminuye con la presencia de rivales en la alianza, especialmente rivales cercanos. Las configuraciones de alianza predichas son simplemente los equilibrios de Nash, es decir, aquellos conjuntos de alianzas para los cuales ninguna firma única tiene un incentivo para cambiarse a otra alianza. Ilustramos nuestra teoría estimando las opciones de nueve compañías de computadoras para unirse a una de dos alianzas que auspiciaban estándares competitivos para el sistema operativo* UNIX *en 1988.*

Introducción

Los estándares de los productos tienen influencias fundamentales sobre el desempeño y el desarrollo tecnológico de los negocios. Las tecnologías se convierten en estándares a través de muchos procesos diferentes. Un cuerpo regulador con poderes de perfeccionamiento o una única firma dominante a veces pueden imponer un estándar al mercado (Besen y Saloner, 1989; Bresnahan y Chopra, 1990). En ausencia de un cuerpo o una empresa con el poder para imponer un estándar de compatibilidad sobre un mercado, la fijación del estándar

* Reimpreso a partir de Robert Axelrod, Will Mitchell, Robert E. Thomas, D. Scott Bennett y Erhard Bruderer, "Coalition Formation in Standard-Setting Alliances", *Management Science*, 41, septiembre de 1995, pp. 1493-1508. Reimpreso con autorización del Institute of Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), 2 Charles Street, Suite 300, Providence, RI 02904.

puede ser un resultado del mercado luego de una competencia cabeza a cabeza entre las firmas interesadas (Farrell y Saloner, 1988). Sin embargo, es cada vez más común que las firmas se unan en una o más alianzas para fijar estándares a fin de desarrollar tecnología estándar y auspiciar la adopción de un estándar. La alianza de VHS coordinada por Matsushita para auspiciar un videograbador estándar y las alianzas de estaciones de trabajo técnicas creadas en 1988 para desarrollar y auspiciar los estándares del sistema operativo UNIX son dos ejemplos de este fenómeno (Saloner, 1990). Aunque hay alguna literatura sobre las estrategias que emplean las coaliciones de fijación de estándares para lograr sus objetivos (por ejemplo, Weiss y Sirbu, 1990), ha habido poca investigación sobre cómo decide una empresa a qué alianza de fijación de estándares unirse. Incrementar nuestra comprensión del proceso por el cual las firmas eligen una alianza de fijación de estándares proporcionaría intuiciones tanto sobre la formación de alianzas de fijación de estándares como sobre los estándares que emergen de tales alianzas. Además, el conocimiento concerniente a los estándares que obtenemos puede ayudarnos a estudiar la formación de alianzas en otros terrenos económicos y sociales donde las coaliciones juegan también papeles críticos.

En este ensayo estudiamos la formación de alianzas competidoras para el auspicio de estándares de compatibilidad técnica. Dado que las alianzas de fijación de estándares deben inducir a las empresas individuales a unírseles a fin de tener éxito, nos concentramos en los incentivos para que las firmas se unan a ellas. Nuestros supuestos básicos son que una firma prefiere (1) unirse a una gran alianza de fijación de estándares a fin de incrementar la posibilidad de desarrollar y auspiciar exitosamente un estándar de compatibilidad, y (2) evitar aliarse con rivales, especialmente rivales cercanos, a fin de maximizar sus propios beneficios a partir de los estándares de compatibilidad que emerjan de los esfuerzos de la alianza. Sobre la base de estas premisas desarrollamos una teoría y un método para identificar la composición de alianzas de fijación de estándares.[1] Analizamos la efectividad de nuestra metodología aplicándola a los esfuerzos por crear y auspiciar estándares de los sistemas operativos UNIX en 1988.

El ensayo procede de la siguiente manera. En la primera sección, "estándares y alianzas", describimos el papel económico desempeñado por los estándares e introducimos la exposición razonada de nuestro modelo de formación de alianza en casos de fijación de estándares. En "Estimar la adhesión en la alianza", discutimos investigaciones anteriores referentes a la elección de alianzas y delineamos la teo-

[1] La teoría deriva de la teoría paisaje de agregación propuesta por Axelrod y Bennett (1993), quienes aplicaron la teoría a los alineamientos internacionales de la Segunda Guerra Mundial.

ría. En "El caso UNIX", ilustramos nuestra aproximación con un análisis del caso de los sistemas operativos UNIX. El caso muestra que nuestro análisis funciona bastante bien en la explicación de las decisiones de adhesión por parte de las firmas involucradas en la industria de las estaciones de trabajo técnicas. En las conclusiones delineamos algunos caminos para investigaciones ulteriores.

Estándares y alianzas

Razones para los estándares

En mercados en los que hay mayores ganancias cuanto mayor es el número y la magnitud de las empresas que adoptan el mismo producto central y características similares del diseño de proceso, a menudo se desarrollan estándares (Arthur, 1988). Las externalidades de la red se presentan cuando los consumidores deben utilizar productos complementarios o invertir excesivamente en el aprendizaje específico de un producto a fin de utilizarlo efectivamente (Katz y Shapiro, 1985). Cuando la complementariedad y la inversión de capital humano encierran a los consumidores en sus opciones tecnológicas, los usuarios dependen o bien de una selección limitada de empresas para el soporte que necesitan o bien deben proveérselo ellos mismos. Por ello, para los productos afectados por las externalidades de la red, los costos de adoptar esos productos para los consumidores son altos y el interés del consumidor usualmente es bajo cuando no hay ningún estándar. Cuando existen estándares pertinentes, los costos de mejorar, expandir y utilizar productos relacionados disminuyen en proporción con los mercados pertinentes que aceptan el estándar (David y Greenstein, 1990). Por ende, el interés del consumidor en los productos que se suscriben a estándares aceptados será mayor que el interés en productos equivalentes no estándar.

Alianzas para desarrollar y auspiciar estándares

La literatura sobre fijación de estándares indica que los estándares pueden desarrollarse *de iure*, cuando un cuerpo regulador con fuerza de ley establece los estándares, o *de facto*, cuando las fuerzas del mercado determinan los estándares (Farrell y Saloner, 1986a). Los estándares *de iure* son, sin duda, los medios más simples por los que se desarrollan estándares. Sin embargo, los estándares *de facto* son necesarios si no existe ningún cuerpo autorizado que establezca los estándares. El peligro del desarrollo *de facto* de estándares para una empresa es que el estándar escogido por el mercado puede dejarla en una posición desven-

tajosa, ya que el estándar puede ser parcial o completamente incompatible con su propia tecnología.[2] Estas incompatibilidades hacen que sea muy costoso para esa empresa ofrecer un producto que cumpla el estándar aceptado. Para evitar esas desventajas competitivas, las firmas tienen un incentivo para auspiciar los estándares *de facto* en ausencia de estándares *de iure* ejecutables.

Una empresa auspicia estándares *de facto* ya sea promoviendo sus métodos patentados como estándares, ya sea ingresando en una alianza para desarrollar y promover estándares favorecidos por una coalición de firmas. En un caso u otro, el estándar propuesto, para tener éxito, debe atesorar una gran base instalada de consumidores como para crear suficientes externalidades de red (David y Greenstein, 1990). Otras firmas pueden adoptar la tecnología propuesta si la base instalada es lo suficientemente grande, y la corriente de adopción puede dejar afuera a las tecnologías competidoras (Farrell y Saloner, 1986a, 1986b; Katz y Shapiro, 1986).

La necesidad de instalar una base amplia sugiere que a menudo será difícil para una sola firma auspiciar exitosamente su tecnología patentada como estándar. Farrell y Saloner (1986a) sugieren que sólo las empresas predominantes, que hacen uso de un sustancial poder de mercado (Katz y Shapiro, 1985), pueden auspiciar exitosamente un estándar de manera unilateral y crear una corriente de adopción. La imposición unilateral de un estándar es improbable si no hay una firma predominante. Brock (1975) sostuvo que la rivalidad competitiva entre empresas puede impedir la estandarización, mientras que Besen y Johnson (1986) afirmaron que la adopción no coordinada del mercado sufre cuando las firmas y los usuarios tienen preferencias diferentes, el conocimiento de las preferencias de los otros es limitado y las empresas persiguen estrategias de mercado diferenciales.

En ausencia de una empresa dominante y de una única y obvia tecnología, los esfuerzos por desarrollar y auspiciar estándares a menudo requieren la creación de alianzas implícitas o explícitas entre rivales o potenciales rivales (Saloner, 1990). Una alianza implícita puede desarrollarse cuando una empresa ingresa en un acuerdo de segunda procedencia o de licencia con otras empresas para producir la tecnología de la empresa auspiciante. Ésta puede ofrecer licencias tecnológicas a un costo bajo o cero a fin de inducir a otras firmas a adoptar su

[2] Por tecnología queremos decir los métodos utilizados para alcanzar un fin (más coloquialmente, maneras de hacer cosas). La definición abarca productos físicos y procesos no físicos. Una tecnología estándar es un conjunto generalmente aceptado de un producto clave y de manera tal que las características de diseño del proceso, de que "fabricantes diferentes proveen mayor intercambiabilidad de la que es lógicamente necesaria" (Farrell y Saloner, 1985: 70).

tecnología (Farrell y Gallini, 1988). Las alianzas explícitas a menudo se desarrollan cuando la tecnología evoluciona rápidamente, cuando no hay ninguna firma predominante, o cuando hay tecnologías competidoras. Una alianza explícita permite a los miembros tener injerencia y control sobre el estándar que se desarrolla, reducir los costos de investigación y desarrollo [R&D costs] al distribuirlos entre múltiples empresas, y combinar la variedad de especialidades de los miembros de la alianza (David y Greenstein, 1990).

Incentivos para unirse a alianzas de fijación de estándares

Al elegir entre alianzas competidoras de fijación de estándares, una empresa no puede determinar *a priori* si los estándares de una alianza se impondrán, cuán provechosos serán los estándares y qué proporción del provecho atesorará la empresa. Por ende, la estricta maximización del provecho no es una medida objetiva apropiada para que las empresas elijan entre alianzas competidoras cuando los provechos específicos de una alianza son extremadamente especulativos por naturaleza. En cambio, a una empresa le preocupan sus expectativas de funcionar "mejor" en una alianza antes que en otra. En este abordaje, las firmas ordenan las preferencias sobre las alianzas competidoras. Por lo tanto, empleamos la maximización de la utilidad, basada en estas preferencias, como una aproximación a una estrategia de maximización del provecho para el problema de la selección de alianzas.

Nuestros presupuestos centrales sobre los incentivos para que las empresas se unan a las alianzas de fijación de estándares se basaron en dos componentes de la utilidad que una empresa obtiene al unirse a una alianza específica. Primero, la alianza debería ser tan grande como sea posible, ya que la probabilidad de que una tecnología se convierta en un estándar aumenta a medida que la magnitud agregada de las firmas que ofrecen un producto compatible aumenta. (Discutimos las medidas de magnitud en la sección "Uso de la teoría en el caso UNIX") Cuando una firma se une a una alianza y adopta el estándar propuesto por ésta, su magnitud se transforma en una parte de la magnitud agregada de la alianza.

Segundo, la magnitud agregada a menudo estará en conflicto con las consideraciones competitivas durante el proceso de fijar los estándares. Por lo tanto, suponemos que una firma no desea estar aliada con rivales en la fijación de estándares. Aunque la alianza con un rival podría aumentar la magnitud agregada de la alianza y aumentar así la posibilidad de que el estándar propuesto por la alianza sea adoptado, el rival puede estar capacitado para abocarse a una competencia de precio o de producto en el mercado postadopción para el bien

estandarizado. Si esto ocurre, la estandarización proporcionará escaso o ningún beneficio a una firma que compite en el mismo mercado. Por lo tanto, las empresas preferirán unirse a una alianza en la que los rivales tengan una presencia tan pequeña como sea posible. En palabras de Weiss y Sirbu (1990: 112), las firmas "deben impedir que sus competidores obtengan una ventaja a expensas de ellas".

La preocupación por la rivalidad se intensifica cuando una alianza sirve para desarrollar tecnología así como para auspiciar un estándar. Hamel y otros (1989), Jorde y Teece (1990), y Teece (1992) señalan que los competidores a menudo consiguen ganancias sustanciales cooperando en el desarrollo de nuevas tecnologías compatibles, pero también deben preocuparse de que los competidores ganen desproporcionadamente. Cuando las actividades de desarrollo de tecnología de la alianza comienzan, las empresas rivales a menudo poseen tecnologías que son incompatibles. Cada firma tiene un incentivo para hacer el estándar de la alianza compatible con sus tecnologías previas, pero es virtualmente imposible que los estándares que se establezcan sean compatibles con todas las tecnologías de los rivales. Por ello, cuanto más influyan los rivales en una alianza de fijación de estándares, menos probable es que el estándar establecido sea compatible con la tecnología previa de una determinada empresa.

La intensidad de la rivalidad diferirá entre pares de empresas. Todas buscan obtener ventaja, así que pueden ser rivales actuales o potenciales. Sin embargo, en la competencia por fijar estándares de tecnología, la intensidad de la rivalidad entre dos firmas aumenta según el grado en que ellas (1) ofrecen tecnología funcionalmente equivalente pero incompatible, y (2) tienen perfiles de segmentación de mercado similares.[3] Los casos en los que las firmas ofrecen tecnología funcionalmente equivalente pero incompatible conducirán a la rivalidad entre ellas en el proceso de fijación de estándar, porque, al asociarse, una de ellas o ambas tendrían que abandonar un provechoso estándar de cuya patente son propietarias. La intensidad de la rivalidad será particularmente alta entre firmas que tienen perfiles de segmentación de mercado similares, porque la rivalidad tendrá lugar a lo largo de las operaciones de las empresas. Por contraste, la intensidad de la rivalidad será más baja entre firmas que tengan perfiles de segmentación de mercado diferentes, porque no se encuentran cabeza a cabeza en todos los mercados y porque a menudo poseerán habilidades técnicas complementarias relacionadas con sus mercados, debido a sus diferentes experiencias.

[3] Con "perfil de segmentación de mercado", nos referimos al conjunto de mercados de productos en los que opera una firma. Las empresas con perfiles de segmentación de mercado similares "se reflejan" unas en las otras, en el sentido de que tienen una lucha cuerpo a cuerpo entre los segmentos de mercado en los que operan y también entre aquellos en los que no operan.

Para simplificar nuestro análisis, definimos la intensidad de la rivalidad como cercana o distante. Dos empresas son rivales en el proceso de fijación de un estándar si su adopción requiere que al menos una de las dos abandone una tecnología cuya patente le pertenece. Una tecnología propia es clave si la base instalada de la firma en al menos un segmento de mercado incurriría en costos de cambio sustanciales si la tecnología dejara de estar disponible debido a que se ha establecido un estándar. Las firmas también son rivales cercanos si tienen perfiles de segmentación de mercado similares. Las firmas son rivales distantes si tienen diferentes perfiles de segmentación de mercados y poseen habilidades técnicas y relativas a sus mercados complementarias.[4] La tipología de los rivales cercanos y distantes no agota todas las posibles combinaciones de los factores de rivalidad, y un tratamiento más general podría medir el alcance de la rivalidad entre cada par de empresas o discriminar entre firmas que producen bienes idénticos, diferenciados y complementarios. Para nuestros propósitos, una dis-

[4] Nuestro supuesto en relación con la rivalidad es contrario a la idea de que los rivales cercanos tienden a confabular o a ejercer una tolerancia recíproca a fin de monopolizar conjuntamente un mercado y luego utilizar implícita o explícitamente los acuerdos de bando para repartir los beneficios del oligopolio (Edwards, 1955; Karnani y Wernerfelt, 1985), especialmente si la concentración de mercado es alta (Bernheim y Whinston, 1990). Las razones tradicionales para aliarse con los rivales no se aplican a las situaciones de fijación de estándares en las que cada firma tiene tecnología patentada cuyo recambio implica altos costos de inversión de capital financiero y humano específico en un producto intransferible por parte de los consumidores. Económicamente tiene sentido aliarse con rivales en mercados con bajos costos de recambio, ya que estos tipos de alianza permiten a los rivales evitar la competencia de precios restringiendo la producción y repartiéndose porciones del mercado. En mercados basados en una tecnología que requiere altos costos de recambio, la tecnología misma ofrece la función restrictiva de las alianzas de connivencia porque los costos de recambio permiten a las firmas cargar precios súper competitivos sin perder inmediatamente consumidores existentes en favor de sus competidores. En cambio, las firmas se alían para establecer estándares a fin de ampliar el mercado. En estas alianzas, es una desventaja aliarse con un rival cercano porque cada firma tiene un fuerte incentivo para promover su propia tecnología como estándar a fin de mantener e incrementar su base instalada. Por lo tanto, es mejor para una firma aliarse con rivales lejanos. Además, la predicción de atracción supone que los competidores pueden controlar de manera verosímil la evolución de la tecnología y la competencia en sus mercados si actúan juntos. Ese control usualmente estará más allá de la capacidad de una o de pocas empresas en configuraciones industriales rápidamente cambiantes, sin importar cuál sea el nivel de concentración de mercado (Hartman y otros, 1994). Esperamos que la connivencia entre rivales cercanos para fijar estándares tenderá a ocurrir sólo cuando haya pocas firmas con capacidades creíbles y cuando haya escasa incertidumbre acerca de la definición del estándar. En esos casos, unas pocas empresas podrían esperar realmente ser capaces de dominar el desarrollo del estándar y de abordar los problemas de negociación y de deserción que aquejan a los acuerdos de bando. Pocos casos de fijación de estándares cumplen estas condiciones, y conviene más considerar la connivencia y la mutua tolerancia como excepciones antes que como parte del proceso normal de las alianzas de fijación de estándares.

tinción entre rivales cercanos y lejanos ofrece una estimación útil de las diferencias en el grado de rivalidad.[5]

Como una primera aproximación, suponemos que la magnitud agregada y las influencias de la rivalidad son funciones lineales de la magnitud de la empresa. Suponemos que la influencia de cada firma en el proceso de fijación de estándar es proporcional a su magnitud, de manera tal que el deseo de una firma de unirse a una alianza está relacionado proporcionalmente con la magnitud representada por la adhesión en las alianzas. De modo similar, suponemos que ese deseo de unirse a una coalición disminuye linealmente en la magnitud de cada rival que forma parte de la alianza.

El supuesto de la magnitud agregada lineal es una primera aproximación plausible, pero puede no ser apropiada si, una vez que el estándar ha acaparado una gran proporción del mercado o de la base instalada, se desarrolla una corriente de adopción (Farrell y Saloner, 1986a, 1986b; Katz y Shapiro, 1986). En cambio, en ocasiones existirán efectos umbral, en el sentido de que ampliar el mercado de un 50% a un 51% podría tener más efecto que aumentar de, digamos, el 90% al 91%. No obstante, los efectos de la corriente serán más débiles en situaciones con información incompleta, especialmente si hay una incertidumbre sustancial acerca de las futuras necesidades de desarrollo técnico y de mercado. En esos casos, la gran magnitud simplemente incrementa la probabilidad de adopción, así que el resultado no es seguro ni siquiera cuando la alianza es muy grande. Además, allí donde el desarrollo técnico es un aspecto importante del propósito de la coalición, el supuesto de linealidad puede ser plausible porque tener una mayor magnitud a menudo añadirá recursos financieros y tecnológicos necesarios para un desarrollo exitoso. Las diferencias en las preferencias, las diferencias tecnológicas y los costos de recambio pueden además impedir que se desarrollen corrientes (Farrell y Saloner, 1988), de manera que existe una oportunidad para que las tecnologías lleguen a establecerse, incluso cuando un estándar competidor ha ganado una amplia base (Farrell y Saloner, 1986a). Los avances tecnológicos, las estrategias de precios y los consumidores cautivos pueden prevenir o impedir el dominio del mercado por un único estándar mientras esa oportunidad siga existiendo. Por ende, a menudo no habrá ningún umbral de magnitud agregada para la aceptación de un estándar

[5] La distinción entre rivales cercanos y distantes es similar a la noción de grupos estratégicos dentro de una industria (Caves y Porter, 1977), donde las empresas en una determinada industria a menudo compiten más directamente con los miembros de su grupo estratégico que con empresas fuera del grupo (Fiegenbaum y otros 1996). Una idea relacionada concerniente a las firmas especializadas y generales aparece en la literatura de la ecología de las organizaciones (por ejemplo, Hannan y Freeman, 1977).

propuesto, de manera que, consideraciones competitivas aparte, siempre es de interés de una empresa maximizar la magnitud de su alianza. El supuesto de la magnitud lineal será apropiado en esos casos.

Estimar la adhesión en la alianza

Aproximaciones teóricas previas a la composición de alianzas

De acuerdo con David y Greenstein (1990: 4), "el campo [de la economía de los estándares] sigue siendo joven y su estado es bastante fluido. Los economistas apenas han establecido una terminología estándar, y han concordado mucho menos en modos paradigmáticos de análisis teórico e indagación empírica". Hay escasa literatura teórica que aborda la cuestión general de la composición de alianzas, incluyendo si una alianza se forma (Selten, 1973; Werden y Baumann, 1986) y cuál será la composición de las alianzas formadas entre un conjunto determinado de jugadores (Shapley y Shubik, 1969; Owen, 1977; Hart y Kurz, 1983; Rajan, 1989). No obstante, la mayor parte de la atención de la literatura sobre los estándares se ha dirigido a cuál será el estándar adoptado, en lugar de analizar qué firmas se unirán a las alianzas de fijación de estándares competitivos. La falta de atención radica en la indocilidad empírica del análisis existente de la composición de alianzas, basado en la teoría de los juegos. La aproximación más común para predecir la adhesión en las alianzas calcula y compara los valores de la estructura de coalición (Owen, 1977) para cada manera posible de distribuir a los jugadores en las alianzas (una configuración de alianza). Un análisis como éste puede sugerir tanto la configuración de la alianza que emergerá como la estabilidad de cada configuración, que puede ser una única alianza o consistir en alianzas competidoras.

Desafortunadamente, es difícil probar las predicciones de valor de la estructura de coalición debido a requerimientos de información sustancial. La aplicación empírica de este abordaje requeriría identificar y cuantificar los réditos para cada participante en todos los conjuntos de alianzas concebibles. Ésta es una tarea que intimida tanto a los responsables de la toma de decisiones gerenciales como a los que analizan los resultados de esas decisiones. Utilizar la aproximación convencional de la teoría de los juegos para ejecutar y analizar problemas complejos de composición de alianzas es especialmente difícil porque los réditos para cada empresa dependen de las opciones tomadas por todas las otras empresas. Considérese el ejemplo del caso de la fijación de estándares. La magnitud del mercado variará según el número de estándares, mientras que

la porción de mercado de una firma determinada variará, entre otros factores, según cuán rápido pueda una firma incorporar al mercado un producto en relación con las otras firmas. A su vez, la velocidad en que una firma desarrolla un producto depende de muchos factores. Entre ellos, cuán estrechamente cooperan con la firma otros miembros de la alianza, si uno o más miembros tienen una ventaja o precedencia tecnológica para producir productos relacionados, o si uno o más miembros son suficientemente poderosos como para influir en la selección a favor de un estándar patentado (Katz y Shapiro, 1986; Gabel, 1987).

Por lo tanto, para problemas complejos de composición de alianzas, es virtualmente imposible determinar funciones de rédito completas tal como lo requiere tradicionalmente la teoría de los juegos. Éste es un problema no solamente para los investigadores, sino también para las firmas. En contraste con el abordaje tradicional, desarrollamos una aproximación que primero define la utilidad en términos de relaciones de dos en dos entre las firmas y luego emplea la magnitud de la utilidad para estimar el valor de una configuración de alianza. Nuestro abordaje ofrece una ruta indirecta y empíricamente flexible para estimar cómo la opción de alianza de una empresa puede afectar a su rentabilidad.

Nuestra teoría

Como ya se discutió en la sección "Estándares y alianzas", suponemos que una firma tiene dos consideraciones al evaluar el valor de unirse a una alianza en particular. Primero, se mide la magnitud total de la alianza porque es un indicador de la probabilidad de que la alianza triunfe con el estándar que desarrolla. Segundo, la empresa preferiría que el éxito de la alianza no sea compartido por sus rivales, especialmente sus rivales cercanos. Las consideraciones de magnitud y rivalidad de la alianza pueden combinarse para calcular la utilidad que depararía a la empresa i unirse a la alianza A, $U_i(A)$ de la siguiente manera:

$$U_i(A) = \sum_{j \in A} s_j - [\alpha \sum_{j \in D} s_j + (\alpha + \beta) \sum_{j \in C} s_j], \qquad (1)$$

donde s_j es la magnitud de la empresa j, y C y D conforman una división de la alianza A en rivales cercanos y distantes de i (por ejemplo, $A = C + D$ y $C \cap D = \emptyset$). El parámetro α mide el desincentivo para aliarse con cualquier clase de rival. En este análisis de las alianzas de fijación de estándares, limitaremos a α valores positivos ($\alpha > 0$), excluyendo los casos en los que dos firmas son llevadas a unirse por su mutua rivalidad. El parámetro β mide el desincentivo adicional para aliarse con rivales cercanos. Podemos suponer que

$\beta > 0$ porque la competencia con rivales cercanos es más intensa que con rivales distantes. Esta especificación de utilidad tilda a una empresa de miope en el sentido de que basa su evaluación de una alianza sólo en relaciones de dos en dos entre ella misma y los potenciales socios en la alianza.[6]

Podemos simplificar la ecuación (1) de este modo:

$$U_i(A) = \sum_{j \in A} s_j p_{ij} \qquad (2)$$

donde p_{ij} (la propensión de las dos firmas a aliarse) es $1 - \alpha$ cuando i y j son rivales distantes y $1 - (\alpha + \beta)$ cuando i y j son rivales cercanos. Nótese que las propensiones son simétricas, $p_{ij} = p_{ji}$.

Abordamos el caso en el cual hay una o dos alianzas. La existencia de externalidades positivas de consumo lleva a la formación de una única alianza de fijación de estándares. En otros casos, la tendencia a formar una única alianza de fijación de estándares estará contrariada, al menos inicialmente, por los deseos de empresas competidoras de influir en el proceso de fijación de estándares y de beneficiarse de él. Esa competencia a menudo se limita a dos alianzas en lugar de un número mayor de coaliciones porque la posibilidad de crear y auspiciar exitosamente un estándar decae a medida que el número de diseños aumenta.[7] La posibilidad disminuida de una creación de estándar exitosa en un mundo multialianza con frecuencia hará que las empresas que son indiferentes o, incluso, hostiles entre sí se unan en una alianza. A veces se forman más de dos alianzas, y el número de ellas que podría formarse está limitado únicamente por el número de las firmas, pero nuestro límite es consistente con muchas instancias empíricas.

[6] El caso con $\alpha = 0$ se plantearía para firmas que no son rivales. Dos firmas son no rivales en el mercado actual si ninguna de ellas tendría que abandonar una tecnología patentada clave al asociarse, lo que es más probable que ocurra si las firmas consideran la estandarización de la tecnología como una oportunidad para ingresar en nuevos mercados antes que como un cambio en las operaciones actuales. Los no rivales se atraerán uno al otro debido a la contribución de la magnitud de un no rival a la magnitud agregada de una coalición, aunque incluso los no rivales podrían verse como futuros rivales si planean seguir similares estrategias de segmentación de mercado en el futuro. Los valores negativos para α y β podrían surgir en los cárteles de fijación de precios u otras alianzas de connivencia. Si las firmas no distinguen entre rivales cercanos y distantes, entonces $\beta = 0$. En términos más generales, se podría definir la rivalidad para cada par de firmas en lugar de las categorías de rivales cercanos y distantes. En tal caso, $p_{ij} = 1 - v_{ij}$, donde v_{ij} es el grado de rivalidad entre las firmas i y j.

[7] La externalidad positiva creada por la estandarización declina a medida que se incrementa el número de estándares y, por lo tanto, reduce la ventaja principal de la fijación de estándares, que es un mayor mercado postestandarización. De allí que los costos de compartir tecnología estándar con los competidores a menudo superará los beneficios de la estandarización cuando hay muchos estándares en competencia.

La principal pregunta para la teoría es: ¿cuál será la composición de las alianzas que realmente se formen? Para responder a esta pregunta necesitamos sólo un débil supuesto de comportamiento, es decir, que una configuración de alianza estable tendrá que ser un equilibrio de Nash. Esto significa que para que una división de las empresas en al menos dos alianzas sea estable, no habrá ninguna empresa que prefiera cambiar de bando (o si están todas juntas, ninguna de ellas querrá salirse por su cuenta). Expresado formalmente, dada una configuración de alianza, X, sea una división de las firmas en dos conjuntos, A y B (donde B puede ser vacío). Entonces, X es un equilibrio de Nash si y sólo si para todo i en A, $U_i(A) \geq U_i(B + \{i\})$.

El equilibrio de Nash es un concepto de solución inadecuado en muchas situaciones en la teoría de los juegos porque puede resultar en un número muy grande de resultados. Pero con las funciones de utilidad de las empresas especificadas como lo están en las ecuaciones (1) y (2), el concepto del equilibrio de Nash normalmente reduce las configuraciones de alianza predichas a una pequeña lista. La razón es que, dadas propensiones simétricas, toda la configuración de alianza "mejora" siempre que una empresa cambia de bando en una configuración de alianza a fin de mejorar su utilidad. El mejoramiento puede medirse por una magnitud única.

Esto puede verse al definirse la energía de una configuración de alianza $E(X)$ del siguiente modo:

$$E(X) = \sum \sum_{j} s_i s_j p_{ij} d_{ij}(X), \tag{3}$$

donde $d_{ij}(X) = 0$ si i y j están en la misma alianza, y $d_{ij}(X) = 1$ si están en alianzas diferentes.[8] Habrá siempre una energía más baja si una empresa mejora su utilidad cambiando de alianza.[9] Una configuración de alianza es, por lo tan-

[8] La idea de la energía potencial en los sistemas físicos tuvo su primer desarrollo riguroso en el contexto de los sistemas hamiltonianos (véase Arnold, 1978; Abraham y Shaw, 1983; Nicolis y Prigogine, 1989). Más recientemente, se ha utilizado la energía en inteligencia artificial para caracterizar la dinámica de sistemas complejos como las redes neuronales (Hopfield, 1982).

[9] He aquí la prueba. Considérense dos configuraciones, X e Y, cada una con dos alianzas, que sólo difieren en la adhesión de una sola firma, k. Sin pérdida de generalidad, sea $X = A'$ versus B donde $A' = A \cup \{k\}$, y sea $Y = A$ versus B' donde $B' = B \cup \{k\}$. Para abreviar la anotación, sea $K = \{k\}$ y $r_{ij} = s_i s_j p_{ij}$. $E(X) = \sum_{A'} \sum_{B'} r_{ij} + \sum_{B} \sum_{A'} r_{ij}$, puesto que $d_{ij}(X) = 0$ para $i \in A', j \in A'$ o $i \in B, j \in B$; y $d_{ij}(X) = 1$ para $i \in A, j \in B'$ o $i \in B, j \in A'$. De igual modo, $E(Y) = \sum_{A} \sum_{B'} r_{ij} + \sum_{B'} \sum_{A} r_{ij}$. De manera que $E(X) - E(Y) = \sum_{A'} \sum_{B} r_{ij} - \sum_{A} \sum_{B'} r_{ij} + \sum_{B} \sum_{A'} r_{ij} - \sum_{B'} \sum_{A} r_{ij} = \sum_{K} \sum_{B} r_{ij} - \sum_{A} \sum_{K} r_{ij} + \sum_{B} \sum_{K} r_{ij} - \sum_{K} \sum_{A} r_{ij}$, puesto que $\sum_{A'} \sum_{B} r_{ij} = \sum_{A} \sum_{B} r_{ij} + \sum_{K} \sum_{B} r_{ij}$.

Pero $\sum_{K} \sum_{B} r_{ij} = \sum_{B} \sum_{K} r_{ij}$ y $\sum_{A} \sum_{K} r_{ij} = \sum_{K} \sum_{A} r_{ij}$, puesto que $p_{ij} = p_{ji}$. De manera que $E(X) - E(Y) = 2(\sum_{K} \sum_{B} r_{ij} - \sum_{K} \sum_{A} r_{ij}) = 2(s_k \sum_{B} s_j p_{kj} - s_k \sum_{A} s_j p_{kj})$. Por lo tanto, $E(X) - E(Y) = 2s_k (U_i(B) - U_i(A))$.

to, un equilibrio de Nash si y sólo si ninguna firma puede cambiar de alianza sin incrementar la energía de la configuración. De hecho, los equilibrios de Nash son exactamente aquellas configuraciones que son mínimas locales de la función energía evaluada sobre todas las configuraciones posibles.

La idea intuitiva detrás de la ecuación (3) es que la energía es más baja cuando las empresas que tienen propensiones negativas para aliarse están en alianzas diferentes. La magnitud entra en juego porque tener una relación apropiada con una empresa grande es más importante que tenerla con una pequeña.

Un corolario de este resultado es que no puede haber ningún ciclo si las empresas cambian de bando una por vez. La razón es que cualquier movimiento que la empresa elija hacer incrementará estrictamente su utilidad y por lo tanto aminorará la energía del sistema. Pero la misma configuración (con la misma energía) nunca puede ocurrir dos veces si la energía del sistema es estrictamente decreciente.

El caso UNIX

Estaciones de trabajo técnicas y alianzas UNIX: *contexto histórico*

La lucha por los estándares UNIX para las estaciones de trabajo técnicas ilustra nuestro abordaje.[10] Las estaciones de trabajo técnicas son poderosas computadoras de escritorio, típicamente utilizadas en ingeniería y aplicaciones científicas. La primera estación de trabajo técnica de uso comercial fue introducida alrededor de 1980. Las ventas mundiales fueron de unos dos mil millones y medio de dólares en 1987 y alcanzaron los 10 mil millones en 1990. Un aspecto clave del diseño de estaciones de trabajo técnicas es el sistema operativo, que controla el *hardware* y maneja el flujo de información y comunicación entre los diversos componentes del sistema de la computadora. La mayoría de las estaciones de trabajo técnicas han utilizado alguna versión del sistema operativo UNIX, que la American Telephone and Telegraph Company (AT&T) desarrolló en sus Laboratorios Bell durante la década de 1960. En total, las compañías de *hardware* para computadoras y las instituciones académicas diseñaron más de 250 versiones de sistemas operativos basados en UNIX. El *sofware* de aplicaciones escrito para una versión a menudo no funcionaba en otro UNIX.

Pero $s_k > 0$. De manera que para las configuraciones X e Y, que difieren sólo en la firma k, $E(X) > E(Y)$ si y sólo si $U_i(A) < U_i(B)$.

[10] La información histórica contenida en esta subsección proviene de fuentes de dominio público (por ejemplo, Computer Technology Research Corp., 1990a, 1990b).

En 1984, la incompatibilidad del *software* entre los sistemas operativos UNIX indujo a muchos fabricantes líderes de computadoras europeos, estadounidenses y japoneses a formar el grupo X/Open, con el propósito de alentar el desarrollo de estándares UNIX. Sin embargo, esta aproximación de consenso a la estandarización fracasó en octubre de 1987, cuando los miembros de X/Open AT&T y Sun Microsystems, Inc. anunciaron que proseguirían el desarrollo de un sistema operativo UNIX basado en el Sistema V de AT&T. El nuevo sistema estaría disponible para otras compañías bajo licencia.

Pronto surgió un desafío a la sociedad de AT&T y Sun. Siete fabricantes mayores de computadoras, que incluían a la Digital Equipment Corporation (DEC) y la International Business Machines Corporation (IBM) respondieron en mayo de 1988 formando la Open Software Foundation (OSF). Un propósito primordial de la OSF era desarrollar un sistema operativo UNIX estandarizado que no tomara tecnología patentada de AT&T. AT&T y Sun respondieron a la OSF formando UNIX International, Inc. (UII) en diciembre de 1988, cuyos miembros aconsejarían y auspiciarían el desarrollo del Sistema V UNIX de AT&T. Aunque algunos participantes secundarios se unieron a ambas alianzas, no hubo ninguna superposición entre los nueve auspiciantes completos de la OSF y los diez miembros principales de UII. Tanto UII como la OSF se expandieron después de 1988 y cada una continuó sus esfuerzos por crear un sistema operativo estándar. AT&T introdujo un lanzamiento comercial del Sistema V versión 4 en noviembre de 1989, y la OSF lanzó una versión comercial de OSF /1 a finales de 1990.

Esta cronología extiende el argumento de Farrell y Saloner (1988) de que la adopción de estándares de compatibilidad puede promoverse por medio de un híbrido de comité de coordinación y liderazgo de mercado. Podemos ver a X/Open como un intento de coordinación por un comité único; la acción de AT&T y Sun en 1987, como un movimiento de liderazgo de mercado unilateral; y la formación de la OSF y la UII, como intentos subsecuentes de crear estándares por comités competitivos. El intento AT&T-Sun de liderazgo de mercado no tuvo éxito porque no eran lo suficientemente fuertes como para ejercer su voluntad sobre otras firmas fuertes, como DEC y Apollo, y porque no había consenso acerca de que el nuevo sistema operativo UNIX de AT&T tendría éxito.[11]

[11] Las alianzas UII y OSF compitieron por la aceptación de los compradores de computadoras y los comités de estandarización durante cinco años, hasta que la UII se dispersó en noviembre de 1993. La dispersión marcó una victoria parcial para la OSF y para abril de 1994, cuando se escribió esta descripción, algunos miembros clave de la UII se habían unido a la alianza sobreviviente. Al mismo tiempo, sin embargo, la OSF le quitó énfasis a su foco sobre el desarrollo de *software*

Uso de la teoría en el caso UNIX

La primera tarea para nuestro análisis fue identificar a las empresas relevantes. Identificamos las que tenían el potencial para jugar un papel importante en el desarrollo de estándares *UNIX* en 1987, el año anterior a la formación de la OSF y la UII. Seleccionamos nueve firmas: AT&T y ocho compañías que competían en el mercado de las estaciones de trabajo técnicas.[12] Incluimos AT&T porque era la empresa que había desarrollado el UNIX original y conservaba los derechos para la versión madre del sistema operativo, sobre el cual poseía una fuerte experiencia técnica y continuaba desarrollando UNIX en 1987, y era un potencial competidor en la industria de las estaciones de trabajo técnicas. Además de AT&T, incluimos todas las empresas que tenían como mínimo un 1% del mercado mundial de las estaciones de trabajo técnicas en 1987. Juntas, las ocho firmas que satisfacían este requerimiento daban cuenta de más de un 95% de los ingresos del mercado de estaciones de trabajo técnicas.

Para calcular los equilibrios de Nash de las potenciales configuraciones de alianzas entre las nueve firmas, necesitábamos medidas de la magnitud individual de las firmas, identificación de rivales cercanos y distantes, y valores para los parámetros de rivalidad α y β. No existe una medida inequívoca de la magnitud de las firmas en casos en los que las expectativas inciertas de la magnitud del mercado y el cambio tecnológico juegan papeles centrales en la determinación de la importancia de la empresa en el proceso del fijación de estándar. Weiss y Sirbu

---

centralizado a cargo de la alianza en favor de un desarrollo interno por los miembros individuales de la alianza. Esta decisión marca un retorno parcial a la competencia de mercado para establecer un estándar UNIX, tal vez porque las compañías miembros de la alianza encontraron que no podrían coordinar totalmente sus intereses competitivos.

[12] El mercado de las estaciones de trabajo técnicas era más importante para nuestro análisis que el sector más amplio de las computadoras porque las cuestiones de los estándares UNIX surgían más fuertemente para las estaciones de trabajo técnicas. Hacia 1987, UNIX era el sistema operativo dominante para las estaciones de trabajo técnicas. La feroz competencia entre los fabricantes de estaciones de trabajo técnicas obligaba a las firmas a mantener sus sistemas operativos tan adelantados como el *hardware* que aquéllas diseñaban. Como resultado, los sistemas operativos UNIX utilizados con las estaciones de trabajo técnicas eran los sistemas UNIX más innovadores y avanzados disponibles. En contraste, los sistemas operativos UNIX sólo se usaban en una fracción minúscula de los mercados de *mainframes* y microcomputadoras, que estaban dominados por computadoras basadas en sistemas operativos patentados. Por lo tanto, UNIX y los estándares UNIX eran de una importancia secundaria para los fabricantes de *mainframes* y microcomputadoras. Nuestro juicio de que los fabricantes de estaciones de trabajo técnicas eran jugadores clave se apoya en el hecho de que cada una de las cuatro firmas que dispararon la respuesta a AT&T y Sun fabricaban estaciones de trabajo técnicas (Apollo, DEC, Hewlett-Packard e IBM formaron el Hamilton Group, un predecesor de la OSF, a comienzos de 1988).

(1990) identificaron muchas medidas de magnitud de firmas que podrían influir en la adopción de estándares, que incluían porciones agregadas del mercado de los mayoristas y los minoristas en los mercados más estrechamente relacionados con el producto a ser estandarizado, los activos corporativos de redes y la base instalada agregada de productos que contuvieran las tecnologías a ser estandarizadas. Weiss y Sirbu descubrieron que la porción de los mayoristas y los activos corporativos tuvieron la influencia más fuerte en la aceptación en once casos en los que los comités de fijación de estándares eligieron entre dos estándares competidores.

Esperamos que la medida de magnitud apropiada varíe en diferentes contextos de fijación de estándares. La porción de los mayoristas en los mercados relacionados tenderá a ser importante cuando los estándares involucren productos intermedios, que son adquiridos y transformados por los revendedores antes de ser vendidos a los consumidores finales. Por contraste, la porción del mercado de los minoristas tenderá a ser un indicador del futuro poder del mercado cuando los productos se venden en una forma que será utilizada por los consumidores finales sin que necesite ser incorporada en sistemas más abarcadores por los productores marginales. Cuando la tasa de cambio tecnológico es lenta, es probable que la base instalada existente de los productos que contienen la versión de una determinada firma de las tecnologías que están siendo estandarizadas sea la mejor medida de la porción de mercado de los minoristas, porque las capacidades que contribuyeron al pasado éxito de una firma muy probablemente continúen siendo valiosas en el futuro. No obstante, cuando el cambio tecnológico ocurre velozmente, muchas capacidades pasadas pierden valor con rapidez, y la porción de mercado es un factor de predicción más apropiado del futuro poder del mercado. Los activos corporativos, que pueden ser la magnitud financiera o experiencia pertinente con la tecnología que se está estandarizando, tenderá a importar más cuando las tecnologías pertinentes requieran una inversión sustancial de dinero y de tiempo.

Como lo discutimos más arriba, juzgamos la porción actual de mercado de los minoristas como la mejor estimación empírica disponible de la futura importancia esperada de una empresa cuando una alianza de fijación de estándares se aboca a productos rápidamente cambiantes que se venderán a los consumidores finales, como era el caso con las estaciones de trabajo técnicas. Por lo tanto, para la magnitud de los ocho fabricantes de estaciones de trabajo técnicas, utilizamos la porción de mercado de cada uno en 1987.[13] Para asignar una

[13] Utilizamos las figuras medias de porciones de mercado de 1987 reportadas en 1988 por la International Data Corporation y Dataquest Inc. para las magnitudes de los siete fabricantes más grandes de estaciones de trabajo técnicas (Sun, Apollo, DEC, HP, Intergraph, SGI e IBM). Basamos la magnitud del octavo fabricante (Prime) en estimaciones de la compañía. El análisis mostró

magnitud para AT&T, que no fabricó estaciones de trabajo técnicas en 1987, le pedimos a cuatro expertos en la industria de las computadoras que estimaran la importancia de AT&T con respecto a su influencia en el establecimiento de un estándar UNIX. Asignamos una magnitud de 28,5 basada en el promedio de las estimaciones de los expertos. La magnitud coloca a AT&T entre las firmas más importantes en el establecimiento de un estándar UNIX.[14]

Para operativizar el concepto de rivalidad cercana y distante, clasificamos a cada una de las empresas en la muestra como especialista en el mercado de las estaciones de trabajo técnicas o como elaboradora de productos de computación en general. Cuatro compañías de la muestra tomaban la mayor parte de sus ingresos del mercado de las estaciones de trabajo técnicas, a saber: Apollo, Intergraph, Silicon Graphics (SGI) y Sun. Clasificamos a los otros cuatro fabricantes de computadoras de la muestra –DEC, Hewlett Packard (HP), IBM y Prime–, como empresas productoras generales porque ofrecían muchas líneas de productos relacionados con las computadoras. AT&T, como creadora del sistema operativo UNIX y defensora primaria de su adopción en todos los segmentos del mercado de las computadoras, también era una productora general porque promovía UNIX como una alternativa competitiva a los sistemas operativos patentados que las otras productoras generales ofrecían en muchos segmentos del mercado. Por ende, de las nueve firmas en este estudio, cuatro eran especialistas en estaciones de trabajo y cinco eran productoras generales.

---

escasa sensibilidad a las diferencias en las magnitudes estimadas y obtuvimos resultados similares para cuatro conjuntos de magnitudes estimadas, incluyendo la media de las estimaciones de Dataquest e International Data, las estimaciones de International Data, las estimaciones de Dataquest reportadas en 1988, o estimaciones ligeramente diferentes de las porciones de mercado de 1987 reportadas por Dataquest en 1989.

[14] Los cuatro expertos anónimos estaban familiarizados con la industria de las estaciones de trabajo técnicas en 1987. Uno de los expertos es un ejecutivo de una compañía de *software*. El segundo es un analista con una compañía de *software* para computadoras. El tercero es un analista industrial que se especializa en aplicaciones UNIX. El cuarto experto es también un analista de la industria de las computadoras. Le enviamos a cada experto una carta en la cual declarábamos que estábamos interesados en AT&T porque poseía los derechos de la versión madre de UNIX, concedía licencias UNIX a fabricantes de estaciones de trabajo técnicas, continuaba desarrollando UNIX en 1987, fabricaba *hardware* para computadoras y era un competidor potencial en la industria de las estaciones de trabajo técnicas. Luego les pedimos a los expertos en el curso de conversaciones telefónicas que estimaran la importancia de AT&T, en relación con las porciones de mercado de las otras ocho empresas en nuestra muestra. Los expertos atribuyeron a AT&T puntajes de 8, 18, 39 y 50. Basados en una decisión previa al estudio, utilizamos el promedio, 28,5. Los dos expertos que atribuyeron las estimaciones más bajas basaron sus estimaciones principalmente en la presencia históricamente débil de AT&T en el mercado de las estaciones de trabajo técnicas. Los expertos que le atribuyeron las estimaciones más altas basaron sus juicios en el potencial de la compañía en 1987 para jugar un fuerte papel futuro en la creación de un estándar UNIX.

Las empresas en el estudio poseían todas sistemas operativos patentados que serían afectados por la emergencia de un estándar UNIX, de manera que cada una de ellas podría ser considerada un rival de las otras. Recuérdese que definimos a los rivales cercanos como empresas que tienen perfiles de segmentación de mercado similares, y los rivales distantes como empresas que tienen perfiles de segmentación de mercado diferentes y poseen complementarias habilidades técnicas y relativas al mercado. Debido a la competencia cabeza a cabeza en el mercado de las estaciones de trabajo técnicas entre las especialistas y en muchos segmentos del mercado entre las productoras generales, definimos pares de especialistas y pares de productoras generales como rivales cercanos. Las firmas que se especializaban en producir estaciones de trabajo técnicas basadas en UNIX tenían rivalidades muy intensas en 1987. Las especialistas competían únicamente en un segmento del mercado y ofrecían sistemas operativos UNIX funcionalmente equivalentes pero incompatibles. Adoptar un sistema operativo UNIX estándar para todas las estaciones de trabajo UNIX requeriría que todas menos una firma abandonara sus sistemas operativos patentados, un acto que eliminaría los costos de recambio de pasarse a otro sistema para muchos usuarios corrientes. Las productoras generales también tenían muchos potenciales conflictos con cada una de las demás, porque se apoyaban en tecnologías patentadas incompatibles en muchos segmentos de mercado. Por contraste, definimos a una productora general y a una especialista como rivales distantes porque compiten menos intensamente que dos empresas del mismo tipo y porque poseen capacidades complementarias necesarias para la comercialización de las estaciones de trabajo técnicas, con las productoras generales proveyendo su capacidad de distribución y financiamiento y las especialistas proveyendo habilidades técnicas.[15]

La teoría tiene dos parámetros de rivalidad no medidos, que representan los valores del desincentivo para aliarse con cualquier clase de rival (α) y el desincentivo adicional para aliarse con rivales cercanos (β). Para el análisis de nuestro caso base, damos a los parámetros valores iguales, $\alpha = \beta = 1$. En el caso UNIX, esto significa que la utilidad perdida por una firma por estar aliada con un rival distante equivalía a la utilidad obtenida de la contribución del rival a la magnitud agregada ($\alpha = 1$), mientras que la utilidad perdida por estar aliada con un rival cercano sobrepasaba sustancialmente su contribución a la magnitud ($\beta = 1$). Fijar $\alpha = 1$ es razonable porque los productores generales y los

[15] Por ejemplo, Sun acordó compartir su pericia en diseñar estaciones de trabajo y microprocesadores con AT&T en parte a cambio de una infusión de más de 300 millones de dólares.

especialistas eran competidores materiales en el mercado de las estaciones de trabajo técnicas pero, a pesar de la competencia, la magnitud de un rival distante contribuiría a una capacidad de la alianza para auspiciar exitosamente un estándar. Dado que el desincentivo de tener un rival cercano en la misma alianza es mayor que el desincentivo de tener un rival distante en la misma alianza, β debe ser mayor que 0; fijar $\beta = 1$ es un razonable primer estimativo del valor. En la ecuación (3), estas opciones de parámetros dan $p_{ij} = 1 - \alpha = 0$ si i y j son rivales distantes, y $p_{ij} = 1 - (\alpha = \beta) = -1$ si i y j son rivales cercanos. El análisis de sensibilidad reportado más abajo muestra que los resultados estimados no son muy sensibles a pequeños cambios en estos parámetros.

Con los valores elegidos para α y β, cada empresa podría preferir evitar una alianza con cualquiera de sus rivales cercanos. Sin embargo, esto podría no ser posible si sólo se formara un número limitado de alianzas. En cambio, algunas firmas se verán forzadas a aliarse con algunos de sus rivales cercanos. Para el caso UNIX, suponemos que habrá como máximo dos alianzas, como ocurrió en la práctica. Juntos, los supuestos concernientes a la magnitud de la empresa, los competidores distantes y cercanos y los parámetros de rivalidad proporcionan una medida simple y plausible de incentivos de dos en dos para que las firmas se alíen en el caso UNIX. El alcance hasta el cual las coaliciones estimadas por nuestra aproximación se ajustan a la adhesión real en la OSF y la UII ilustra la capacidad de nuestro abordaje.

Resultados del análisis

El cuadro 5.1 exhibe los resultados del análisis, que incluyen una configuración que está cerca de la configuración de alianzas real. El cuadro reporta también la magnitud y clasificación de cada empresa. Con nueve empresas, hay $2^8 = 256$ configuraciones de alianzas posibles, con un máximo de dos alianzas cada una. Dos configuraciones de alianzas –que denominamos 1 y 2– fueron equilibrios de Nash. Los dos equilibrios tienen conjuntos de alianzas bastante diferentes. Sun se une a AT&T, Prime e IBM en el equilibrio de la configuración 1, pero está separada de ellas en el equilibrio de la configuración 2. DEC y HP se alían con Apollo, Intergraph y SGI en la configuración 1, pero están separadas de ellas en la configuración 2.

Para comparar los estimados con el resultado empírico, definimos la adhesión a la alianza en términos de la primera de las alianzas OSF y UII abrazadas por cada firma de la muestra. Obtuvimos información acerca de la adhesión en alianzas de los informes 10-K de las firmas a la Security and Exchange Comission, de artículos en la prensa de negocios y a través de conversaciones con indivi-

duos de la OSF, de la UII y de las compañías. DEC, HP, Apollo e IBM fueron miembros fundadores de la OSF en mayo de 1988, mientras que Intergraph y SGI se unieron a la OSF a finales de 1988. Sun, AT&T y Prime fueron miembros fundadores de la UII en diciembre de 1988.

CUADRO 5.1. *Las dos configuraciones de equilibrios de Nash*

	Configuración 1	
Configuración 2	*Alianza 1*	*Alianza 2*
Alianza 1	Sun (27; 2E)	DEC (18,9; G) HP (14,35; G)
Alianza 2	AT&T (28,5; G) Prime (1,0; G) IBM (3,8; G)	Apollo (19,9; E) Intergraph (4,4; E) SGI (4,15; E)
Coincidencia empírica más cercana[a]	UNIX International	Open Software Foundation

Nota: Entre paréntesis se indica el tamaño y el tipo de empresa, G si era una productora general de computadoras E si era especialista en estaciones de trabajo técnicas.

[a] En la Configuración 1, sólo la predicción para IBM está equivocada.

El cuadro 5.1 compara los estimativos con lo que sucedió. En la configuración 1, ocho de las nueve adhesiones están estimadas correctamente. Sólo IBM está incorrectamente asignada. Éste es un corte exacto en términos de magnitud de alianza porque la asignación incorrecta (IBM) era una parte pequeña del mercado de las estaciones de trabajo técnicas. La proporción de magnitud agregada que fue correctamente estimada fue muy alta, esto es, del 97%, y la probabilidad de alcanzar ese valor de magnitud agregada por casualidad es tan sólo del 2%. La predicción también es razonablemente exacta en términos del número de casos, donde la probabilidad de acertar en ocho o más de los nueve casos por casualidad es del 6% cuando hay dos configuraciones de equilibrio.[16] La estrecha paridad entre las adhesiones empíricas y las alianzas predichas en esta ilustración proporciona un sustento para la aproximación de paisaje.

[16] Después de comenzar con cualquier par arbitrario de firmas, hay siete firmas a ser asignadas para un total de 128 configuraciones posibles. (Es necesario comenzar con un par de firmas porque hay dos configuraciones predichas tan buenas o mejores que la configuración predicha: (1) la configuración sin errores, (2) la configuración que sólo asigna equivocadamente a Prime, y (3) la configuración sólo con IBM equivocada. Por lo tanto, la probabilidad de predecir al menos igual magnitud de alianza que la configuración predicha por casualidad es de 3/128 = 0,023. En términos de los casos predichos cuando hay dos configuraciones de equilibrio, una de las 128 configuraciones posibles es completamente correcta y siete fallan en una firma, de manera que la probabilidad de acertar en siete o más de las ocho por casualidad es de (1 + 7)/128 = 0,063.

Llevamos a cabo el análisis de sensibilidad concerniente a lo parámetros de rivalidad, y descubrimos que los resultados obtenidos con los supuestos de rivalidad del caso base ($\alpha = 1$; $\beta = 1$) son bastante robustos. El cuadro 5.2 muestra las configuraciones que ocurrieron a medida que α y β variaron de 0,5 a 1,5 en una progresión de 0,1 en 0,1. El número en cada casilla indica cuantos equilibrios de Nash se encontraron. El equilibrio del caso base ocurrió en todos los casos para los cuales $0,8 \leq \alpha \leq 1,5$; $0,7 \leq \beta \leq 1,5$, así como para muchos casos fuera de esta área rectangular. El análisis de sensibilidad en el cuadro 5.2 muestra que los resultados no son muy sensibles a la opción precisa de los parámetros de rivalidad.

CUADRO 5.2. *Análisis de variación en los parámetros de rivalidad alrededor del caso base*

	β (parámetro de rivalidad adicional para rivales cercanos)										
α (parámetro de rivalidad)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,5	1	2	4	4	8	9	8	8	6	3	3
0,6	2	4	5	9	8	7	4	3	2	2	2
0,7	5	9	8	6	3	2	2	2	2	2	2
0,8	7	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0,9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1,0	2	2	2	2	2	2[a]	2	2	2	2	2
1,1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1,2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1,3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1,4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1,5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Nota: El número en cada casilla indica el número de configuraciones de equilibrio de Nash; las casillas con cifras subrayadas incluyen la configuración más acertada a partir del caso base.

[a] El caso base es $\alpha = 1$; $\beta = 1$.

El cuadro 5.3 reporta las configuraciones que ocurrieron a medida que α y β variaron de 0 a 5, mostrando otra vez que los estimados del caso base son robustos. Las dos configuraciones del caso base ocurrieron para todos los casos calculados con $\alpha = 0$, $\beta \geq 4$; con $\alpha = 0,5$, $\beta \geq 2$; y con $\alpha \geq 1$, $\beta > (\alpha - 0,5)$. El análisis de sensibilidad en el cuadro 5.3 ofrece intuiciones acerca de cómo los incentivos conflictivos y la rivalidad y magnitud agregada labran la formación de alianzas. En general, la configuración del caso base ocurrió cuando las empresas eran sustancialmente más hostiles a los rivales cercanos que a los rivales distantes. Fuera de los espectros en los que se encontraron las configuraciones del caso base, se observaron cuatro patrones:

1. Los estimados convergieron en una única alianza cuando las empresas no tenían una fuerte aversión, ya sea por los rivales cercanos o los distantes (α y β son pequeñas, arriba a la izquierda del cuadro 5.3). Este resultado muestra que el atractivo de la magnitud agregada de la alianza predomina cuando hay escasa rivalidad, de manera que las firmas tienden a situarse en una alianza universal de fijación de estándares.
2. Las 256 alianzas posibles con configuraciones de equilibrio cuando todos los rivales se consideran con igual aversión ($\alpha = 1$ y $\beta = 0$, lo que implica que $p_{ij} = 0$ para todos los pares de firmas).
3. Muchos equilibrios resultan cuando las empresas tienen fuerte aversión por rivales distantes y relativamente escasa aversión adicional por los rivales cercanos ($\alpha > 1$ y $\beta \leq a - 1$, abajo a la izquierda del cuadro 5.3).
4. Muchos equilibrios también resultan cuando las firmas tienen escasa aversión por los rivales distantes y moderada aversión por los rivales cercanos (arriba al centro del cuadro 5.2, con $\alpha < 1$).

CUADRO 5.3. *Análisis extendido de la variación en los parámetros de rivalidad*

	β (parámetro de rivalidad adicional para rivales cercanos)								
α (parámetro de rivalidad)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
0,0	1	1	1	4	9	7	3	2	2
0,5	1	1	9	3	2	2	2	2	2
1,0	256	2	2[a]	2	2	2	2	2	2
1,5	9	3	2	2	2	2	2	2	2
2,0	9	7	3	2	2	2	2	2	2
2,5	9	8	6	3	2	2	2	2	2
3,0	9	8	7	4	3	2	2	2	2
4,0	9	9	8	7	6	3	3	2	2
5,0	9	10	8	8	7	6	4	3	2

Nota: El número en cada casilla indica el número de configuraciones de equilibrio de Nash; las casillas con cifras subrayadas incluyen la configuración más acertada a partir del caso base. Los casos con una configuración predicha son la alianza universal.

[a] El caso base es $\alpha = 1$; $\beta = 1$.

También probamos la sensibilidad del resultado de la variación a la magnitud de AT&T, porque las estimaciones de los expertos de la industria en relación con la magnitud de AT&T variaban de manera sustancial. Los resultados reportados, en los que la estimación más ajustada tiene un error de una empresa, se encuentran si la magnitud de AT&T se establece entre 19 y 29. Hay uno o dos errores con la magnitud de AT&T entre 1 y 18 y dos errores con la magnitud de AT&T entre 30

y 34. No hay errores con la magnitud de AT&T entre 35 y 37. Hay un error con la magnitud en 38 ó más. Por ende, los resultados reportados y resultados equivalente o mejores se encuentran para un espectro razonable de magnitudes.

Los cambios en los estimados que ocurren con la variación de la magnitud de AT&T reflejan consideraciones estratégicas plausibles. Dado que AT&T es una productora general, la división de las cuatro empresas especializadas no depende de la magnitud de AT&T y siempre es correcta. Sin embargo, la división de las cuatro productoras generales es sensible a la magnitud de AT&T porque las alianzas entre ellas cambian de acuerdo con la importancia de AT&T. Ésta se desplaza a sociedades de productoras generales progresivamente más pequeñas a medida que aumenta su magnitud. Finalmente, una vez que AT&T se hace muy grande (38 o más), todos los otros productores generales se le oponen. El resultado empírico es consistente con el caso en el que se esperaba que AT&T jugara un papel amplio pero no abrumador en la fijación del estándar UNIX.

Conclusiones e investigaciones futuras

En este ensayo, hemos desarrollado e ilustrado una aproximación para predecir la conformación de alianzas entre empresas que desarrollan y auspician productos que requieren una estandarización técnica. Comenzamos con dos simples y plausibles supuestos: que una firma prefiere (1) unirse a una gran alianza de fijación de estándares a fin de incrementar la probabilidad de auspiciar exitosamente un estándar de compatibilidad, y (2) evitar aliarse con rivales a fin de beneficiarse individualmente de los estándares de compatibilidad que emerjan de los esfuerzos de la alianza. Luego definimos el concepto de utilidad como una aproximación a la maximización de la ganancia en términos de magnitud y rivalidad, y expusimos las influencias sobre los incentivos a aliarse a fin de desarrollar y auspiciar estándares. Mostramos que los equilibrios de Nash son los mínimos locales de una función de energía con este tipo de función de utilidad.

Ilustramos la efectividad de nuestra metodología aplicándola a los esfuerzos de crear y auspiciar estándares de sistemas operativos UNIX en 1988. Dado un conjunto plausible de supuestos acerca de la magnitud y rivalidad de las firmas y la importancia relativa de la rivalidad y la magnitud de la alianza, encontramos una estimación robusta de dos configuraciones de alianzas, una de las cuales acertó correctamente en el 97% de la magnitud agregada de las empresas y fue correcta en todas las empresas menos una. El éxito indica que la aproximación proporciona un método práctico para sugerir cuáles de las firmas en una determinada industria se aliarán, utilizando únicamente datos que probable-

mente estén a disposición de empresarios o investigadores que se encuentren frente a una información limitada.

Así como una ilustración útil del abordaje, el análisis empírico proporciona útiles intuiciones sobre los incentivos para aliarse de las empresas competidoras. Puede haber más de un resultado localmente óptimo, y la configuración específica en la que el sistema encuentra estabilidad tenderá a depender de la trayectoria, ya que será fuertemente influida por las movidas iniciales en el proceso de construcción de alianza.[17] Por ejemplo, la configuración 1 en el cuadro 5.1 estuvo cerca del resultado observado, porque AT&T y Sun se aliaron al comienzo del proceso. Si otro par se hubiese unido al comienzo del proceso, digamos AT&T y Apollo (que, como Sun, tenía una amplia porción de mercado y habría sido un socio igualmente creíble para AT&T), podría haber surgido un resultado bastante diferente, como el de la configuración 2.

Las características compartidas por los dos resultados potenciales también nos ayudan a comprender el proceso empírico de formación de alianzas en los casos de fijación de estándares. Como puede verse en el cuadro 5.1, la combinación de atributos de especialista y productor general y la magnitud total del subgrupo son los factores clave que influyen en la formación de potenciales alianzas. Ambas configuraciones dividen a las empresas especialistas por las mismas líneas en dos subgrupos de casi igual magnitud (Sun contra las otras tres especialistas). De manera similar, ambas configuraciones dividen a las productoras generales por las mismas líneas en dos subgrupos de casi igual magnitud (DEC y HP contra las otras tres). Por ende, las firmas pueden equilibrar el conflicto entre disfrutar de los beneficios de la estandarización e incurrir en los problemas de asociarse con los competidores cercanos escindiéndose en grupos de competidores cercanos que estén tan cerca como sea posible de una magnitud igual.

Nuestros resultados sitúan en un contexto más general los argumentos comunes de que la alianza OSF se formó primordialmente para oponerse a la fuerza de Sun y AT&T (en ocasiones se ha dicho que la sigla OSF significaba "*Opose Sun Forever*".*[18] Aunque algunas firmas indudablemente se unieron a la OSF

[17] Arthur (1990) discute el papel de los réditos crecientes en la generación de óptimos múltiples. David (1985) y Arthur y otros (1987) discuten el papel de la historia en la influencia sobre los resultados. La dependencia de la trayectoria surge también en la literatura sobre el comercio con economías externas (por ejemplo, Krugman, 1981; Ethier, 1982; Panagaryia, 1986).

* "Oponerse por siempre a Sun". [N. de T.]

[18] Dos explicaciones de "sentido común" propuestas a veces para el resultado empírico son que (a) las firmas se opusieron a la capacidad de mercado corriente de Sun, o (b) que las firmas que no eran Sun se opusieron a la capacidad de mercado potencial de AT&T, mientras que Sun era lo bastante fuerte como para no temerle a AT&T. Si (a) fuese verdad, las firmas en la muestra se

para oponerse a Sun y a AT&T, otras se unieron después a UNIX International para equilibrar la magnitud creciente de la OSF. Dado que había suficientes firmas que realmente podían esperar influir en el proceso de fijación de estándar, fue posible que las dos alianzas alcanzaran una magnitud aproximadamente equivalente. El hecho de que las firmas especializadas y las generales puedan dividirse en dos subgrupos de magnitudes casi iguales, lo cual sería común en industrias con muchos competidores moderadamente fuertes, puede ayudar a explicar por qué las dos alianzas mantuvieron un empate competitivo durante cinco años.

El análisis también ilustra cómo tanto la historia como las expectativas pueden influir en la determinación de un resultado estable cuando hay múltiples equilibrios posibles (Katz y Shapiro, 1985; Krugman, 1991). La historia puede jugar un papel poderoso porque las empresas pueden utilizar las fuerzas pasadas y presentes para medirse unas a las otras. Las rivalidades y las magnitudes utilizadas en este estudio están basadas principalmente en posiciones históricas en la industria de la estación de trabajo técnica. No obstante, las expectativas también pueden jugar un papel importante. En este estudio, la magnitud de AT&T se basa en las expectativas de su importancia potencial como fijador de un estándar, aunque la compañía estuvo ausente del mercado de las estaciones de trabajo técnicas en 1987.

Queda mucho trabajo importante por hacer, además, para incrementar el alcance de nuestra aproximación. Un medio más general de operativizar la magnitud y la rivalidad sería valioso. Ser capaces de estimar el número de alianzas, así como la composición de un determinado número de alianzas, aumentaría la amplitud de la metodología. Permitir que una empresa elija la neutralidad o una adhesión dual en las alianzas extendería la aproximación.[19] También sería útil

---

aliarían contra Sun, lo cual no se cumple por dos firmas; la probabilidad aleatoria de dos errores con nueve firmas y una única configuración predicha es del 25%. Si (b) fuese verdad, entonces habría dos configuraciones de equilibrio: todas las firmas aliadas contra AT&T, lo cual no se cumple por dos firmas; todas las firmas que no son Sun aliadas contra AT&T, lo que no se cumple por una firma. La mejor predicción en el argumento (b) tiene una probabilidad fortuita del 6%, igual que nuestro estimado más acertado. Por ende, una de las ideas de sentido común tiene menos capacidad estadística que nuestra teoría, y la otra tiene la misma capacidad. No obstante, adoptar el sentido común no le dice a uno si esperar (a) o (b), siendo ambas racionalizaciones ad hoc. Suponiendo que se asignan valores iguales a (a) o a (b), la posibilidad de un resultado mejor que el del azar mediante la fe en el sentido común es el promedio del 25% y el 6%, o sea, el 16%. Por lo tanto, nuestro argumento general tiene una capacidad de explicación mayor que los argumentos ad hoc.

[19] Dos de las empresas más pequeñas de nuestra muestra desarrollaron relaciones significativas tanto con la UII como con la OSF, y muchas de las otras firmas que se unieron a las alianzas mantuvieron su adhesión a ambos grupos. En la mayoría de los casos, la adhesión dual fue adop-

explorar especificaciones no lineales de la función de energía. Esto admitiría propensiones asimétricas y, por ende, extendería la metodología a instancias en las cuales una firma quisiera unirse a otra, pero la segunda no quisiese unirse a la primera. Permitir que los componentes de magnitudes y utilidad cambien de manera endógena también ensancharía la metodología. No obstante, este ensayo ilustra la capacidad y el valor potencial de nuestro abordaje.

Partiendo de premisas simples, hemos desarrollado una teoría de la formación de coaliciones en una situación de fijación de estándares que ofrece provechosas intuiciones sobre el comportamiento y las motivaciones de las empresas de computadoras en nuestra aplicación UNIX. Utilizando tan sólo las magnitudes de las firmas y la intensidad de la competencia entre ellas, estimamos con un alto grado de robustez las probables configuraciones de alianzas e identificamos las motivaciones de las firmas individuales que sustentaron las configuraciones de alianza predichas. Un desarrollo ulterior de la teoría presentada en este escrito debería intensificar nuestra comprensión del modo como los estándares son fijados por las coaliciones así como los factores que determinan la formación de coaliciones en otras situaciones.[20]

Referencias

ABRAHAM, R. H. y C. D. Shaw (1983), *Dynamics: The Geometry of Behavior*, Santa Cruz (EE.UU.), Ariel Press.

ARNOLD, V. I. (1978), *Mathematical Methods of Classical Mechanics* (traducido del ruso), Nueva York, Springer.

---

tada por participantes relativamente menores en el mercado de las computadoras. No es sorprendente encontrar que los jugadores más débiles intentaran posicionarse para adaptarse a cualquiera que fuese el estándar que emergiera, ya que los jugadores con una porción pequeña del mercado tienen escasa influencia en el proceso de fijación de estándar. La cuestión surgiría también si la metodología se aplicara a alianzas de coordinación de mercado, donde las firmas pequeñas con frecuencia no están incluidas en un cártel organizador.

[20] Estamos en deuda con John E. Jackson y Roger C. Kormendi por su ayuda para iniciar este trabajo. Apreciamos los comentarios de Michael D. Cohen, Douglas Dion, John H. Holland, Valerie Y. Suslow, Hal R. Varian y Gerard Weisbuch, así como las sugerencias ofrecidas por el editor y varios revisores anónimos. Estuvimos asistidos por el consejo recibido de participantes en la Conferencia sobre Organización Industrial, Management Estratégico y Competitividad Internacional [Conference on Industrial Organization, Strategic Management, and International Competitiveness], que tuvo lugar en la Universidad de British Columbia en junio de 1991. Estamos agradecidos por la información proporcionada por Jim Linck, Mark Freed, Dave Martens y Byron Askin del Programa MPA de la Universidad de Michigan, y por varios expertos de la industria de la computación. Este trabajo fue sustentado en parte por las becas de la National Science Foundation SES 8808459 y SES 9106371 otorgadas a Robert Axelrod.

ARTHUR, W. B. (1988), "Self Reinforcing Mechanisms in Economics", en P. W. Anderson, K. J. Arrow, y D. Pines (comps.), *The Economy as an Evolving Complex System*, , SFI Studies in the Sciences of Complexity, Nueva York, Addison-Wesley, pp. 9-31.

—— (1990), "'Silicon Valley' Locational Clusters: When Do Increasing Returns Imply Monopoly", *Mathematical Social Science*, 19, pp. 235-251.

ARTHUR, W. B., Y. M. Ermoliev e Y. M. Kaniovski (1987), "Path Dependent Processes and the Emergence of Macro Structure", en *European J. Oper. Res*, 30, pp. 294-303.

AXELROD, Robert y D. S. Bennett (1993), "A Landscape Theory of Aggregation", en *British J. Political Sci*, 23, pp. 211-233 (incluido como capítulo 4 en este volumen).

BERNHEIM, B. D. y M. D. Whinston (1990), "Multimarket Contact and Collusive Behavior", en *Rand J. Economics*, 21, pp. 1-26.

BESEN, S. M. y L. L. Johnson (1986), *Compatibility Standards, Competition, and Innovation in the Broadcasting Industry*, Santa Monica, California, Rand Corporation.

BESEN, S. M. y G. Saloner (1989), "The Economics of Telecommunications Standards", en R.W. Crandall y K. Flamm (comps.), *Changing the Rules: Technological Change, International Competition, and Regulation in Communication*, Washington, Brookings, pp. 177-220.

BRESNAHAN, T. y A. Chopra (1990), "Users' Role in Standard Setting: The Local Area Network Industry", en *Economics of Innovation and New Technology*, 1, pp. 97-110.

BROCK, G. (1975), "Competition, Standards, and Self-Regulation in the Computer Industry", en Richard E. Caves y Marc J. Roberts (comps.), *Regulating the Product Quality and Variety*, cap. 5, Cambridge, Ballinger.

CAVES, R. E. y M. E. Porter (1977), "From Entry Barriers to Mobility Barriers", en *Quarterly J. Economics*, 91, pp. 241-261.

COMPUTER TECHNOLOGY RESEARCH CORP. (1990a), *Technical Workstation In-Depth*, Holtsville, Computer Technology Research Corp.

—— (1990b) (julio). *UNIX in the 1990s*, Holtsville, Computer Technology Research Corp.

DAVID, P. (1985), "CLIO and the Economics of QWERTY", en *Papers and Proceedings of the American Economic Association*, 75, pp. 332-336.

DAVID, P. y S. Greenstein (1990), "Selected Bibliography on the Economics of Compatibility Standards and Standarization", en *Economics of Innovation and New Technology*, 1, pp. 3-41.

EDWARDS, C. D. (1955), "Conglomerate Bigness As A Source of Power", en *NBER Report: Business Concentration and Price Policy*, Princeton, Princeton University Press, pp. 331-359.

ETHIER, W. (1982), "Decreasing Costs in International Trade and Frank Graham's Argument for Protection", en *Econometrica*, 50, pp. 1243-1268.

FARRELL, J. y N. Gallini (1988), "Second Sourcing as a Commitment", en *Quarterly J. Economics* 103, pp. 673-694.

FARRELL, J. y G. Saloner (19859, "Standarization, Compatibility, and Innovation", en *Rand J. Economics*, 16, pp. 70-83.

—— (1986a), "Installed Base and Compatibility: Innovation, Product Preanouncements,

and Predation", en *American Economic Review*, 76, pp. 940-955.

—— (1986b), "Standarization and Variety", en *Economic Letters*, 20, pp. 71-74.

—— (1988), "Coordination Through Committees and Markets", en *Rand J. Economics*, 19, pp. 235-252.

FIEGENBAUM, A., S. Hart y D. Schendel (1996), "Strategic Reference Point Theory", en *Strategic Management J.*, 17, pp. 219-235.

GABEL, H. L. (1987), "Open Standards in the European Computer Industry: The Case of X/OPEN", en H.L. Gabel (comp.), *Product Standarization and Competitive Strategy*, Amsterdam, North-Holland, pp. 91-123.

HAMEL, G., Y. L. Doz y C. K. Prahalad (1989), "Collaborate with Your Competitors – and Win", en *Harvard Business Review*, 67, pp. 133-139.

HANNAN, M. T. y J. H. Freeman (1977), "The Population Ecology of Organizations", en *American J. Sociology*, 82, pp. 929-964.

HART, S. y M. Kurz, "Endogenous Formation of Coalitions", en *Econometrica*, 51, pp. 1047-1064.

HARTMAN, R. S., D. J. Teece, W. Mitchell y T. Jorde (1994), "Assessing Market Power in Regimes of Rapid Technological Progress", en *Industrial and Corporate Change*, 2, pp. 317-350.

HOPFIELD, J. J. (1982), "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities", en *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 79, pp. 2552-2558.

JORDE, T. M. y D. J. Teece (1990), "Innovation and Cooperation: Implications for Competition and Antitrust", en *J. Economic Perspectives*, 4, pp. 75-96.

KARNANI, A. y B. Wernerfelt (1985), "Multiple Point Cooperation", en *Strategic Management J.*, 6, pp. 87-96.

KATZ, M. y C. Shapiro (1985), "Network Externalities, Competition, and Compatibility", en *American Economic Review*, 75, pp. 424-440.

—— (1986), "Technology Adoption in the Presence of Network Externalities", en *J. Political Economy*, 94, pp. 822-841.

KRUGMAN, P. (1981) "Trade, Accumulation, and Uneven Development", *J. Development Economics*, 8, pp. 149-161.

—— (1991), "History Versus Expectations", en *Quarterly J. Economics*, 106, pp. 651-667.

NICOLIS, G. e I. Prigogine (1989), *Exploring Complexity, An Introduction*, Nueva York, Freeman. [Trad. esp.: *La estructura de lo complejo*, Madrid, Alianza, 1994.]

OWEN, G. (1977), "Values of Games with a Priori Unions", en R. Hein y O. Moeschlin (comps.), *Essays in Mathematical Economics and Game Theory*, Nueva York, Springer-Verlag, pp. 76-88.

PANAGARIYA, A. (1986), "Increasing Returns, Dynamic Stability, and International Trade", en *J. International Economics*, 20, pp. 43-63.

RAJAN, R. (1989), "Endogenous Coalition Formation in Cooperative Oligopolies", en *International Economic Review*, 4, pp. 863-876.

SALONER, G. (1990), "Economic Issues in Computer Interface Standarization", en

Economic Innovation and New Technology, 1, pp. 135-156.

SELTEN, R. (1975), "A Simple Model of Imperfect Competition Where Four Are Few and Six Are Many", en *International J. Game Theory*, 2, pp. 141-201.

SHAPLEY, L. S. y M. Shubik (1969), "Pure Competition, Coalitional Power and Fire Division", en *International Economic Review*, 10, pp. 337-362.

TEECE, D. J. (1992), "Competition, Cooperation, and Innovation: Organizational Arrangements for Regimes of Rapid Technological Progress", en *J. Economic Behavior and Organization*, 18, pp. 1-25.

WEISS, M. B. H. y M. Sirbu (1990), "Technological Choice in Voluntary Standards Committees: An Empirical Analysis", en *Economics of Innovation and New Technology*, 1, pp. 111-133.

WERDEN, G. J. y M. G. Baumann (1986), "A Simple Model of Imperfect Competition in Which Four Are Few but Three Are Not", en *J. Industrial Economics*, 34, pp. 331-335.

6. La construcción de nuevos actores políticos

El origen inmediato de este capítulo fue el interés en cómo se forman los Estados nación. Mi interés se vio intensificado por la defunción de la Unión Soviética (el foco de mis primeros intereses en las políticas) y Yugoslavia (donde pasé mi luna de miel en 1982). ¿Cuál es la explicación de que a veces grandes cantidades de personas lleguen a vivir juntas exitosamente, y a veces fracasen en hacerlo? Yo estaba particularmente interesado en el proceso positivo mediante el cual los actores independientes cooperan a veces tan exitosamente que renuncian a parte de su independencia en aras de una colaboración aún más efectiva.

Dos ejemplos exitosos me habían fascinado al menos desde la universidad. Uno es el ejemplo de cómo renunciaron las trece colonias estadounidenses a parte de su autonomía para desafiar a Gran Bretaña, y renunciaron a más todavía para construir una nueva nación llamada Estados Unidos. A lo largo de los dos siglos siguientes, el proceso dinámico de las relaciones del Estado federal continuó cambiando en formas que normalmente favorecieron a Washington, tal vez con los mayores cambios asociados con el resultado de la Guerra Civil en el siglo XIX y con el crecimiento del Estado de bienestar en el siglo XX.

La otra sumisión de la autonomía que encontraba fascinante era la evolución del organismo multicelular. En un organismo multicelular, tal como un árbol o un ser humano, la especialización y la interdependencia entre diferentes clases de células ha evolucionado hasta tal punto que podemos contemplar, y de hecho contemplamos, la colección entera de células como un único individuo (Buss, 1987; Maynard Smith y Szathmary, 1995).

Más recientemente, seguí con gran interés una variedad de modelos abstractos de evolución que exhiben la emergencia de la organización jerárquica: nuevos agentes que están compuestos de colecciones de viejos agentes (Fontana y Buss, 1994; Kauffman, 1993 y 1995; Holland, 1995)

Estos ejemplos empíricos y modelos abstractos me llevaron a preguntarme cómo modelar el proceso por el cual los actores independientes renuncian a parte de su autonomía y crean un nuevo actor en un nivel más alto en la organización. Dado que mi interés principal ha estado siempre en los problemas

políticos y sociales, elegí enfocar ese dominio. Puesto que disfruto desarrollando modelos por computadora, decidí ver si podía lograr un modelo por computadora para construir algo que luciera y se comportara como un nuevo actor que emergiera de la autoorganización de más actores elementales.

Aunque puedo rastrear mi interés por la emergencia de nuevos actores políticos décadas atrás, el final de la Guerra Fría le otorgó una nueva urgencia. Una vez que la Guerra Fría se acabó, todo el mundo comenzó a hablar del "nuevo orden mundial" con sus esperanzas de normas internacionales y cooperación intensificadas. Como tantos otros, me preguntaba a dónde podría conducir todo esto; y, en particular, cuánto le costaría a las naciones llegar a ser menos egoístas y a estar más preparadas para renunciar a algo de su autonomía en aras de la acción colectiva, tal vez por una agenda global. El fin de la Guerra Fría también planteó nuevas preguntas sobre las transformaciones de los Estados-nación mismos, como lo ejemplifica la disolución de la Unión Soviética y de Yugoslavia. Este interés era el de comprender el opuesto exacto de la agregación: la disolución de naciones como éstas. Finalmente, me motivó la cuestión de la formación del Estado en sí misma, tanto de las ruinas de viejos Estados multinacionales como de las naciones emergentes de la historia colonial. En suma, para comprender las transformaciones que tuvieron lugar después de la Guerra Fría, ya no era adecuado dar por sentada la independencia ni la composición de los países.

El modelo que desarrollé para estudiar estos procesos emplea algunos de los procesos más básicos de la historia humana: amenazas y guerras. El modelo es en realidad el más complicado de este volumen. Por ejemplo, a diferencia del Dilema del Prisionero, toma en cuenta los efectos del poder desigual y permite a los grupos actores atacarse entre sí. A pesar de mi deseo de mantener las cosas tan simples como fuese posible, requirió una gran cantidad de supuestos específicos lograr que el sistema generara actores completamente nuevos a través del proceso de organizar colecciones de viejos actores. Aunque no pretendo que este modelo sea realista o muy general, demuestra que es posible hacer que emerja un nuevo nivel de actor político a partir de un modelo dinámico. Además, el intento de demostrar que esa emergencia es posible me demandó formular un conjunto de criterios por los cuales uno podría reconocer un nuevo nivel de actor político si éste fuera a formarse. El esfuerzo por formular criterios de emergencia de nuevos actores bien puede resultar ser tan valioso como cualquier modelo particular que exhiba esas emergencias.

Referencias

BUSS, Leo W. (1987), *The Evolution of Individuality*, Princeton, Princeton University Press.

DAWKINS, Richard (1976), *The Selfish Gene*, nueva edición, Nueva York, Oxford University Press. [Trad. esp.: *El gen egoísta*, Barcelona, Salvat, 1993.]

FONTANA, Walter y Leo W. Buss (1994), "The Arrival of the Fittest: Toward a Theory of Biological Organization", en *Bulletin of Mathematical Biology*, 56, pp. 1-64.

HOLLAND, John H. (1995), *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*, Reading, Addison-Wesley.

KAUFFMAN, Stuart A. (1993), *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Nueva York, Oxford University Press.

—— (1995), *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*, Nueva York, Oxford University Press.

MAYNARD SMITH, John, y Eors Szathmary (1995), *The Major Transitions in Biology*, Nueva York, W. H. Freeman.

La construcción de nuevos actores políticos

Un modelo para la emergencia de nuevos actores políticos*

Robert Axelrod[1]

Resumen: *La cuestión de la agregación y desagregación de actores políticos es esencial para la comprensión del futuro de la política global, tanto en términos de asuntos de seguridad internacional como de economía política internacional. Se presenta un modelo basado en el tributo para mostrar cómo pueden surgir nuevos actores políticos a partir de una agregación de actores políticos más pequeños. El modelo del tributo ofrece una prueba de existencia de que es posible utilizar reglas locales simples para generar niveles más altos de organización a partir de actores elementales. En particular, muestra que la dinámica del "paga o verás" combinada con mecanismos para incrementar y disminuir los compromisos puede llevar a núcleos de actores a comportarse ampliamente de acuerdo con los criterios para Estados políticos independientes.*

Introducción

¿Cómo pueden surgir nuevos actores políticos a partir de la agregación de actores políticos más pequeños? Este ensayo presenta un modelo de simulación que ofrece una respuesta. En su perspectiva más amplia, el trabajo puede ser visto como una parte del estudio de la organización emergente a través de procesos

* Reimpreso a partir de Robert Axelrod, "A Model of the Emergence of New Political Actors", en Nigel Gilbert y Rosaria Conte (comps.), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, Londres, University College Press, 1995, pp. 19-39. Reimpreso con autorización de UCL Press.

[1] Agradezco a Rob Axtell, Arthur Burks, Lars-Erik Cederman, Michael Cohen, Paul Courant, Joshua Epstein, Walter Fontana, Stephanie Forrest, Murray Gell-Mann, Nigel Gilbert, John Holland, John Miller, Melanie Mitchell, Robert Pahre, Rick Riolo, Carl Simon y Gerard Weisbuch. Por el apoyo financiero agradezco a Project 2050 a través del Santa Fe Institute, la National Science Foundation, y la LS&A Enrichment Found de la Universidad de Michigan.

"de abajo arriba"* En ese proceso "de abajo arriba", las unidades pequeñas interactúan de acuerdo con reglas localmente definidas, y el resultado son las propiedades emergentes del sistema, tales como la formación de nuevos niveles de organización. Por ende, el trabajo es típico del abordaje "Santa Fe" a sistemas adaptativos complejos (Stein, 1989; Fontana, 1991; Holland, 1992). El interés en los niveles incrementados de organización también recuerda el modo como los sistemas biológicos se las arreglaron para hacer la transición desde los organismos unicelulares a los organismos multicelulares (Buss, 1987), y el modo como los cerebros se las arreglan para funcionar organizando a las neuronas individuales en estructuras significantes (Hebb, 1949; Minsky, 1985).

La tarea entre manos involucra la emergencia de nuevos actores políticos. Ésta es una cuestión vital en el mundo post Guerra Fría. Estamos experimentando una era en la cual la unidad estándar de la política, la nación, ya no es completamente estable. Vemos, por una parte, que se están organizando unidades más amplias, como el Mercado Común Europeo y otras asociaciones regionales. La cuestión de la agregación y desagregación de actores políticos es esencial para la comprensión del futuro de la política global, tanto en términos de asuntos de seguridad internacional como de economía política internacional.

La cuestión de cómo puede situarse al mundo en un camino sustentable de desarrollo es una cuestión particularmente acuciante. La emergencia de nuevos actores políticos es fundamental para la cuestión de la sustentabilidad. Uno de los principales problemas para alcanzar la sustentabilidad es la tragedia de los comunes (Hardin, 1968). La tragedia de los comunes se plantea cuando muchos actores independientes (pueblos, aldeas, Estados u otros) "sobrepastorean" porque no hay ningún mecanismo para imponer los intereses colectivos de todos sobre los intereses privados de cada uno. Esto conduce al agotamiento de los recursos, la eliminación de la biodiversidad, la superpoblación, la guerra y otros problemas sociales fundamentales. Un recorrido importante para la prevención de la tragedia de los comunes es la emergencia de un actor político basado en la organización de actores previamente independientes. Hoy tenemos actores políticos en el nivel nacional que pueden regular el uso de recursos dentro de sus fronteras, pero todavía no tenemos actores políticos efectivos en el nivel transnacional para regular el uso de recursos a nivel global.[2]

* "*Bottom-up processes*": literalmente "de abajo arriba", pero también "total", o "completo". [N. de T.]

[2] Por supuesto, la capacidad de regular el uso de recursos no garantiza que la capacidad se utilice sabiamente. Por ejemplo, la ex Unión Soviética tenía el poder de controlar la polución de sus fábricas, pero en aras de maximizar la producción eligió no ejercer ese poder.

Los expertos en ciencias políticas tienen una variedad de conceptos y teorías para analizar la emergencia de nuevos actores políticos. Desafortunadamente, no tienen ningún modelo formal que explique esta emergencia de manera endógena. De hecho, el problema se parece mucho al interés de los biólogos en la emergencia de organismos multicelulares: la investigación ha tendido a dar por sentada la existencia de esas unidades complejas y, por lo tanto, no ha desarrollado teorías rigurosas para explicar cómo pudieron haber aparecido en primer lugar (Buss, 1987). Por ejemplo, el paradigma fundamental de investigación para modelos de políticas es la teoría de los juegos, y esta teoría da por hecho quiénes son exactamente los actores en una situación particular. En contraste con el abordaje de la elección racional de la teoría de los juegos, el modelo de este ensayo utiliza técnicas de los sistemas adaptativos complejos. Da por hecho la existencia de los actores del nivel más bajo, y genera actores del nivel más alto a partir de la interacción entre aquéllos.

Dado que la meta es explicar la emergencia de nuevos actores políticos, es importante tener un conjunto de criterios que puedan usarse para identificar a un nuevo actor cuando emerge uno. Éstos son mis criterios para identificar a un nuevo actor político como un conjunto emergente de relaciones entre unidades previamente existentes:

1. Control efectivo sobre los subordinados.
   a. Escasa rebelión.
   b. Ninguna "política exterior" independiente.
2. Ación colectiva ("todos para uno y uno para todos").
   a. Paternalismo (protección del débil por el fuerte).
   b. Política exterior conjunta.
3. Reconocimiento por parte de los otros como actor.

Esta lista está ampliamente inspirada por la ley y la práctica internacional histórica y contemporánea relativa al reconocimiento de nuevos estados en la comunidad mundial de naciones. Por ejemplo, las trece colonias se convirtieron en una nueva nación llamada Estados Unidos de América cuando se estableció el gobierno central que tenía:

1. Control efectivo sobre los Estados individuales.
   a. Con bajos niveles de rebelión (al menos hasta la Guerra Civil).
   b. Con una prohibición sobre tratados entre Estados individuales y otras naciones.

2. Control colectivo sobre algunos recursos importantes:
   a. que le permitía a los intereses federales dominar sobre los intereses de los Estados, al menos en ciertos dominios importantes;
   b. que permitía una política exterior común en asuntos como la guerra y la paz.
3. El reconocimiento de su independencia por parte de otras naciones, como Francia y Gran Bretaña.

Aunque el surgimiento de los Estados Unidos difícilmente sea típico, ilustra las propiedades esenciales del modo como un nuevo actor político puede resultar de la agregación de actores políticos más pequeños. En el caso estadounidense, la agregación fue de colonias cuya autonomía fue efímera y precaria durante el período revolucionario. El caso más típico, y el que se modela aquí, es aquél en el cual el actor emergente es esencialmente un imperio en el que una unidad central domina a sus vecinos. Un buen ejemplo de este proceso es el crecimiento del imperio ruso (y luego soviético) desde un pequeño corazón alrededor de Moscú. Otros ejemplos incluyen el crecimiento por anexión de territorios vecinos de Roma y China.

La coerción en general y la extorsión en particular han jugado un papel central en la formación de Estados a lo largo de los siglos (Tilly, 1985 y 1990). Por esta razón, en el corazón del presente modelo está la simple dinámica del "paga o verás" Un actor elemental puede hacerle a un vecino una demanda de pago de recursos, con la amenaza de que si el pago no sobreviene próximamente habrá una guerra.

En el modelo del tributo, las guerras resultan en cambios en la riqueza (y por lo tanto en el poder), pero no en una franca conquista territorial.[3] Esto le permite a cada territorio mantenerse como un actor separado, permitiendo así la posible emergencia de conjuntos de actores territoriales que podrían formar nuevos actores agregados. Aunque ningún territorio cambie de manos, la guerra resulta costosa para ambos lados, pero especialmente para el lado más débil. Por lo tanto, el corazón del modelo es un sistema de tributo en el que un actor puede extraer recursos de los otros a través de pagos de tributo y utilizar estos recursos para extraer más recursos aun. También se admiten alianzas, de manera que los actores pueden trabajar juntos. La posibilidad de la emergencia concreta de un conjunto de actores elementales como actor agregado estable dependerá, entonces, de la dinámica del sistema de tributo: del surgimiento de

[3] Esto contrasta con Cusack y Stoll (1990), cuyo modelo de simulación utiliza la conquista de territorio como dinámica fundamental.

grupos de actores que funcionan como una única agregación, y de la emergencia de patrones de alianza que conducen a acciones coordinadas estables.

A diferencia de mi trabajo previo sobre el Dilema del Prisionero (véase Axelrod, 1984), el modelo de tributo se basa en la extorsión en lugar de la cooperación, y no supone que los actores sean iguales en poder, sino que toma las diferencias de poder como algo vital y que resulta directamente de la dinámica del modelo. Tampoco supone que los actores interactúan sólo de a dos en cada ocasión. Como mi trabajo anterior, no es un modelo racional. El modelo de tributo supone que los actores desarrollan compromisos más o menos fuertes entre sí basados en sus acciones previas. Estos compromisos pueden ser pensados como el resultado de procesos psicológicos (por ejemplo, permanecer junto a aquellos que nos han ayudado en el pasado), o el resultado de reglas políticas de dominio (por ejemplo, apoyar a aquellos que más tarde podrían ayudarnos en tiempos de necesidad). Las acciones se basan en reglas simples de decisión antes que en los cálculos de la opción óptima de la teoría de los juegos, porque los cálculos racionales serían virtualmente imposibles de efectuar en una situación tan compleja. Una característica importante y novedosa es que el comportamiento de los actores cambia con el tiempo a medida que los actores aplican reglas simples de decisión a los datos acerca de la experiencia histórica que han reunido a través de interacciones previas.

El proyecto será exitoso en la medida en que pueda explicar fenómenos importantes que no pueden ser explicados por las teorías formales existentes, y sólo puede hacer eso con unos pocos supuestos. El resultado principal a generar es la emergencia de nuevos actores políticos en un nivel más alto de organización, y los principales supuestos tienen que ver con el modo como los actores elementales interactúan entre sí. Como veremos, el modelo genera espontáneamente no sólo actores emergentes, sino también otros fenómenos importantes que existen en el mundo de la política internacional.

El modelo de tributo

Las unidades básicas del modelo son diez actores dispuestos en una línea. Pueden pensarse los actores como unidades políticas independientes, tal como las naciones. La razón para tener tan pocos actores y una geografía tan simple como una línea (en lugar de un espacio bidimensional) es mantener el análisis de datos tan simple como sea posible. En la medida en que no se pierda ninguna característica conceptual vital, la simplicidad es la mejor estrategia de modelado. Para evitar introducir distinciones arbitrarias entre los actores

que están en los extremos de la línea y los que están en el interior, la línea está enrollada en círculo. Esto le proporciona a cada uno de los actores exactamente dos vecinos.

En el modelo hay un recurso, llamado riqueza. A cada actor se le da cierta riqueza inicial. Las riquezas iniciales se eligen a partir de una distribución uniforme de entre 300 y 500. Estos parámetros, como todos los demás en el modelo, son algo arbitrarios y están seleccionados por conveniencia.

El ciclo básico del modelo se llama año. En cada año, se eligen tres actores uno después del otro al azar para volverse activos. Un actor activo, *A*, puede demandar tributo de uno de los otros actores, *B*. Inicialmente, el blanco, *B*, debe ser un vecino, pero más tarde esta restricción se relajará cuando se consideren las alianzas. El modelo se basa en una dinámica de "paga o verás". El blanco, *B*, tiene entonces la opción de pagar tributo al demandante o de pelear.

La selección de actores para ser activos se basa en la noción de los líderes ambiciosos y las disputas surgen al azar. Pero una vez que se le da una oportunidad de hacer una demanda, el actor activado no tiene por qué hacer una demanda más aún si considera que la situación actual no es favorable.

Si *A* hace una demanda, el blanco *B* tiene dos opciones:

- Si B paga, la riqueza se transfiere directamente de *B* a *A*. El monto de riqueza transferido es 250 si *B* tiene esa cantidad. De otro modo, el monto transferido a *A* es lo que tenga *B*. Esta transferencia representa el tributo que *B* paga a *A* para evitar una pelea.[4]
- Si *B* pelea en lugar de pagar, cada lado pierde el 25% de la riqueza del *otro* lado (o ambos pierden proporcionalmente menos si alguno de los lados no tiene tanta riqueza).[5] Esta es una simple dinámica de desgaste de Lanchester (Lanchester, 1916; Epsten, 1985). La idea es que en un combate ambos lados sufren, pero el más fuerte impone más daño que el más débil.[6]

[4] Tener una demanda máxima fija es arbitrario, pero evita la necesidad de que los actores calculen qué demanda harán.

[5] Por ejemplo, si *A* tienen 400 y *B* tiene 300, *A* pierde 0,25 x 300 = 75, y *B* pierde 0,25 x 400 = 100. Las riquezas después del combate serían entonces 400 – 75 = 325 para *A*, 300 – 100 = 200 para *B*. Nótese que la disparidad en las riquezas aumenta de 100 a 125. Si *B* comenzara la lucha con sólo 50, entonces *B* perdería los 50 (lo cual es la mitad del daño que *A* es capaz de hacer), y *A* perdería la mitad del daño máximo que *B* es capaz de causar, esto es, 0,25 x 0,50 x 50 = 12,5.

[6] Se supone que el demandante lleva a cabo su amenaza implícita de pelear si la demanda no es cumplida. Esto supone, en efecto, que la necesidad del demandante de mantener su reputación es lo suficientemente fuerte para sostener la credibilidad de la amenaza.

Luego de las tres activaciones, el ciclo anual termina con una "cosecha" que incrementa la riqueza de cada actor en 20. Esto alimenta alguna nueva riqueza en el sistema. Una partida típica es de 1.000 años.

La siguiente cuestión a considerar son las reglas de decisión utilizadas por los actores para hacer y responder a las demandas. Sería virtualmente imposible para los actores desarrollar reglas completamente racionales en el juego del tributo debido a su complejidad en el tiempo y el espacio. Por lo tanto el modelo utiliza reglas de decisión heurísticas que captan algunas de las consideraciones clave a corto plazo que enfrentan los jugadores:

- El actor activo necesita decidir a quién hacerle, si es que ha de hacerle a alguien, una demanda. El blanco ideal de una demanda tiene que ser lo bastante débil como para que elija pagar en lugar de pelear, y como para que no cause demasiado daño si elige pelear. Por otra parte, el blanco ideal debería ser lo bastante fuerte como para ser capaz de pagar tanto como sea posible. Una regla de decisión aplicable que combina ambas consideraciones es elegir entre los blancos potenciales aquél que maximice el producto de los momentos de vulnerabilidad del blanco para su posible pago. La vulnerabilidad del blanco es $(W_A - W_T)/W_A$, donde W_A y W_T son las riquezas del actor activo y del blanco, respectivamente. El pago del blanco es cuánto puede pagar el otro lado, que es el mínimo entre su riqueza y el tributo total de 250. Si ningún blanco potencial tiene vulnerabilidad (por ejemplo, ningún blanco potencial es más débil que el demandante), entonces no se hace ninguna demanda.
- La regla de decisión utilizada para el blanco es más simple: pelea si y sólo si ello costaría menos de lo que costaría pagar.

Hasta aquí, el modelo sólo ha considerado interacciones de dos en dos. Pero a fin de estudiar el desarrollo de actores emergentes, debe haber una manera de que los actores básicos trabajen juntos. La idea clave es que los actores desarrollen grados de compromiso recíproco. Estos compromisos son causados por sus opciones de pagar o pelear, y a su vez tienen consecuencias sobre cómo pagarán o pelearán en el futuro. La idea básica es que si dos actores elementales pelean, otro actor adyacente se unirá al lado con el que tiene mayor compromiso. Si tiene igual compromiso con el demandante y con el blanco, permanece neutral. Si se une a un lado o al otro, contribuye con fuerzas (es decir, con riquezas) en proporción con su compromiso con ese lado.

Inicialmente, nadie tiene ningún compromiso con los otros, y cada actor está completamente comprometido consigo mismo. El compromiso de i con j aumenta cuando:

a. *i* paga tributo a *j* (servilidad).
b. *i* recibe tributo de *j* (protección).
c. *i* pelea en el mismo bando que *j* (amistad).

De manera similar, el compromiso disminuye siempre que:

d. *i* pelea en el bando opuesto a *j* (hostilidad).

La motivación de estas reglas de la dinámica del compromiso es simple. Cuando un actor paga tributo a otro, también es probable que esté parcialmente bajo su dominación política y compelido por lo tanto a asistirlo la próxima vez. Típicamente, un Estado se ve comprometido a ayudar al protector, ya sea por elección o por necesidad, como lo ilustra la participación de muchos Estados latinoamericanos en la Segunda Guerra Mundial después de Pearl Harbor. A la inversa, también es un lugar común la protección de Estados que han proporcionado beneficios, como manera de proteger futuras fuentes de ganancia. El siguiente punto es que si dos lados han peleado juntos en el pasado, tienden a estar parcialmente comprometidos uno con el otro en el futuro, como en el caso de los Estados Unidos y Corea del Sur después de la guerra de Corea. Por otra parte, es menos probable que dos estados que han luchado entre sí se apoyen uno al otro en el futuro, como en el caso de Alemania y Francia después de la Primera Guerra Mundial.[7]

El modelo supone que los aumentos y disminuciones del compromiso son de un monto constante, es decir, incrementos del 10%. Además, el compromiso de un actor con el otro nunca puede ser de más del 100% ni menos que 0%. Los procesos de compromiso descritos más arriba mantienen la simetría del compromiso. Esto es porque dos actores comienzan sin ningún compromiso hacia el otro y sus compromisos entre sí siempre crecen y decrecen al unísono. Por ejemplo, si dos actores pelean en el mismo bando en una guerra, su compromiso recíproco aumentará un 10%.

La parte final del modelo trata con la coordinación de los actores. Para mantener interacciones similares al territorio de combate, se asume que la acción coordinada requiere contigüidad. Por ende, un actor es un blanco elegible para un demandante sólo si todos los que se hallan entre ellos se unen a la demanda. Otros pueden unirse después al demandante o al blanco si todos los que están más cerca de ese lado se unen también a ese lado. Por ejemplo, el actor en la posición 5 puede hacerle una demanda al actor 8 sólo si los actores 6 y 7 se

[7] Para evidencia sobre los aspectos de amistad y hostilidad, véase Axelrod y Bennett (1993).

unen al actor 5. Esto requiere que los actores 6 y 7 estén ambos más comprometidos con 5 que con 8. Luego, si 5 le hace una demanda a 8, el actor 10 puede unirse en defensa de 8 sólo si 9 se une también.

Los compromisos y las riquezas forman parte del conocimiento común.[8] Por lo tanto, cuando un actor activo está evaluando la vulnerabilidad de un blanco elegible, puede tomar en cuenta los compromisos y la riqueza de todos los actores que se unirían a un lado y al otro. De manera similar, el blanco de una demanda puede determinar el costo que tendría para él la lucha calculando el daño que la alianza atacante podría causar, y la proporción de ese daño que el blanco sufriría, que es la proporción de la riqueza de la alianza defensiva con la que contribuye el defensor.

La dinámica del sistema de tributo

Como cualquier simulación estocástica, el modelo del tributo debe hacerse correr muchas veces para explorar el tipo de historias que genera. En el caso del modelo del tributo hay dos fuentes de variación aleatoria: las riquezas iniciales de los actores, y la selección de los actores que han de tornarse activos cada año. Una buena manera de comenzar a apreciar la dinámica del modelo es observar la historia desde la perspectiva de un único actor, digamos el actor 5. Esto revela la secuencia de acontecimientos (demandas, pagos y combates) en los que toma parte. La historia ilustra también el modo como se construyen alianzas a partir de los acontecimientos que suscitan compromisos.

Por ejemplo, éstos son los primeros años de la historia para el actor 5 en la primera partida. En el año 9, 5 estaba activo e hizo su primera demanda, una demanda a un vecino, el actor 4. Considerando que el pago sería más costoso que pelear, 4 eligió pelear. En la lucha resultante cada uno perdió riqueza, pero el agredido era más débil y por lo tanto perdió más que el atacante. Al año siguiente, 5 estaba otra vez activo, y otra vez le hizo una demanda a 4. Debilitado por la pelea anterior, esta vez 4 encontró más barato pagar tributo. El pago no sólo ayudó a 5 a expensas de 4, sino que condujo a un compromiso recíproco de servilismo y protección entre 4 y 5 en un nivel del 10%. La siguiente vez que 5 estuvo activo (año 11), estuvo en condiciones de hacerle una demanda a

[8] En política internacional, normalmente la riqueza puede calcularse con una exactitud aproximada, pero los compromisos son más difíciles de predecir. Hay una rica literatura empírica y teórica sobre el compromiso. Véase, por ejemplo, Schelling (1960), Huth (1988), Powell (1990), Bueno de Mesquita y Lalman (1992), y Axelrod y Bennett (1993).

3 (con el apoyo de 4). El blanco 3 eligió pagar, lo que lo tornó, también, parcialmente comprometido con 5. En el año 14, 5 estuvo otra vez activo y puso en la mira a 2. Sin embargo, 2 se negó a pagar, de manera que 5 peleó con la ayuda de 3 y 4, ambos parcialmente comprometidos con 5. Dado que 3, 4 y 5 pelearon del mismo lado, cada uno de ellos quedó comprometido con los otros en un 10% más. Y puesto que cada uno de ellos peleó en el bando contrario al de 2, quedaron un 10% menos comprometidos con 2 que si hubiesen tenido algún compromiso con 2.

Una vez que hemos observado alguna historia suceso por suceso, examinemos el cuadro general. La figura 6.1 muestra la riqueza de cada uno de los diez actores a lo largo del extenso espacio de tiempo de 1.000 años. La figura muestra claramente que tres actores fueron más ricos que los otros a lo largo de la mayor parte de la historia, y que el actor 5 fue el que alcanzó la riqueza más alta. Un examen de cerca de la figura muestra también que algo dramático sucedió cerca del final de los 1.000 años: una repentina declinación de los tres actores ricos, especialmente en el más grande. La figura 6.2 muestra el número de combates en cada período de veinticinco años, y también muestra la riqueza total de toda la población en el tiempo. Hubo muchas peleas al principio pero luego hubo menos, con un resurgimiento de las luchas en los últimos 100 años. El resurgimiento de las luchas corresponde al colapso de la riqueza de la población alrededor del año 900. Esta especie de colapso mayor ocurrió sólo una vez en cinco partidas del modelo. Se generaron historias bastante diferentes para nuevas poblaciones simuladas bajo las mismas condiciones. Por ejemplo, las figuras 6.3 y 6.4 muestran que la segunda población tuvo cuatro actores exitosos (en lugar de tres), ninguna pelea en absoluto después del año 200 (en lugar de continuar peleando y un resurgimiento tardío), y un firme crecimiento de la riqueza global (en lugar de un colapso).

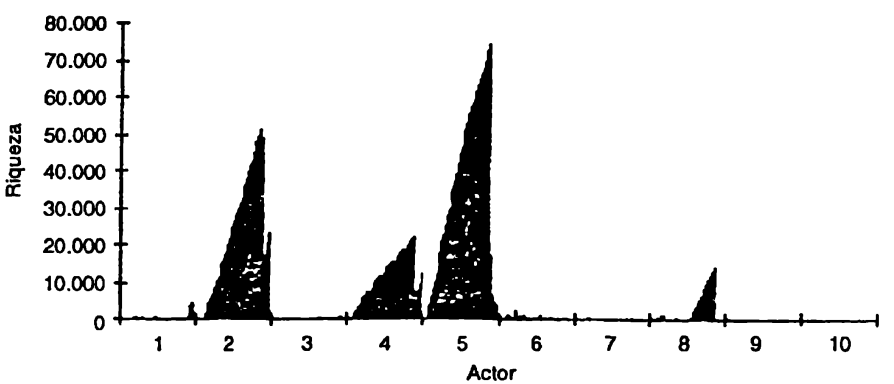

FIGURA 6.1. *Riqueza de cada actor a lo largo de 1.000 años (Población 1)*

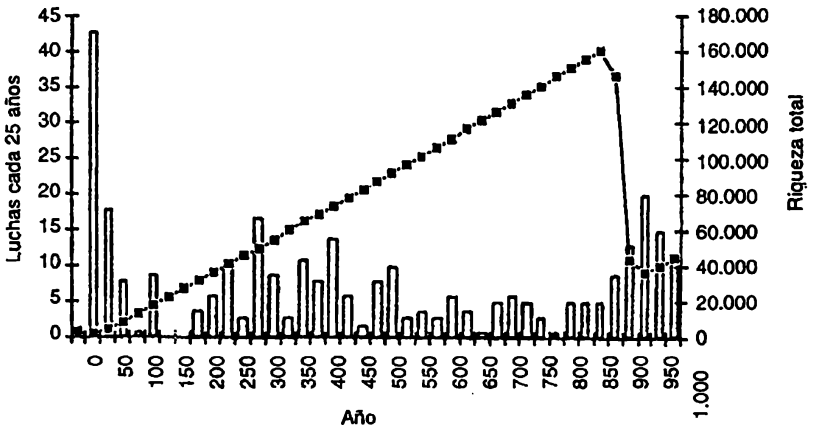

FIGURA 6.2. *Luchas (barras) y Riqueza de la población (líneas) en la Población 1*

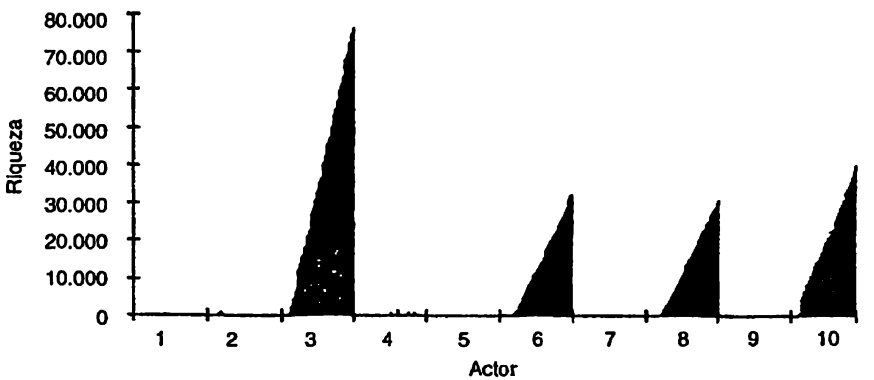

FIGURA 6.3. *Riqueza de cada actor a lo largo de 1.000 años (Población 2)*

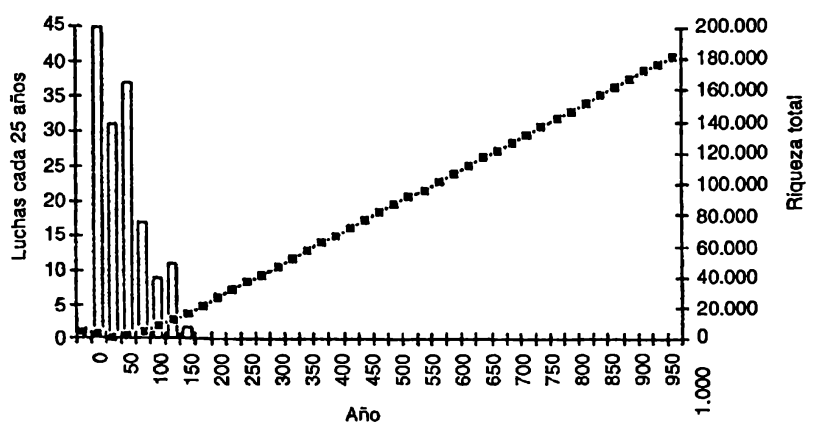

FIGURA 6.4. *Luchas (barras) y Riqueza de la población (líneas) en la Población 2*

Las figuras 6.5 y 6.6 muestran que la tercera población tuvo dos actores ricos, un patrón desigual de peleas, y varias declinaciones moderadas en la riqueza global. La cuarta y la quinta población mostraron otras combinaciones del número de actores ricos, frecuencia de las luchas y tendencias en la riqueza de la población. Por ende, cinco partidas del mismo modelo con los mismos parámetros dan historias bien distintas.[9] Evidentemente, las diferentes combinaciones de riqueza inicial y el orden en el que los actores se hacen activos pueden hacer una gran diferencia en el desarrollo de la historia del sistema.

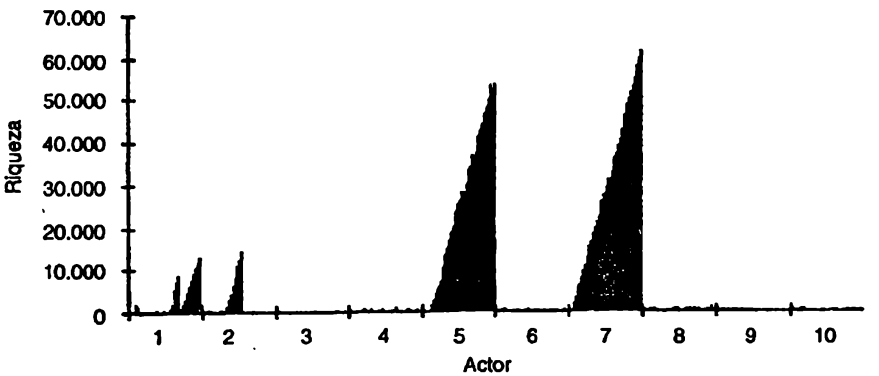

FIGURA 6.5. *Riqueza de cada actor a lo largo de 1.000 años (Población 3)*

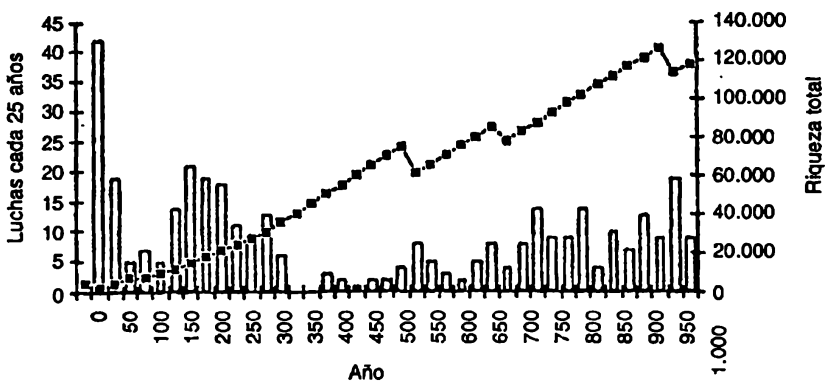

FIGURA 6.6. *Luchas (barras) y Riqueza de la población (líneas) en la Población 3*

Otro modo de observar la dinámica del modelo es examinar el desarrollo de patrones de compromiso. Lo típico es que el primer patrón en emerger fuese un conjunto de relaciones de proximidad en el que los actores desarrollaban bajos

[9] Una partida sólo toma veintitrés segundos en una Macintosh Quadra 700 utilizando Pascal. Por supuesto, el análisis puede llevar días o semanas.

niveles de compromiso con sus vecinos, y a veces con los vecinos de los vecinos. Este patrón queda ilustrado con el patrón de los compromisos en 25 años de la población 2 (véase cuadro 6.1). El otro patrón común de compromisos se desarrolla después de éste, y consiste en dos núcleos de actores. Un *núcleo* puede definirse como un conjunto de actores que están, todos ellos, altamente comprometidos unos con otros (digamos, al nivel del 50%). El cuadro 6.2 muestra la misma población veinticinco años más tarde, dividida netamente en dos núcleos, sin ningún compromiso entre los miembros de núcleos diferentes.[10]

CUADRO 6.1. *Compromisos que conforman un patrón de proximidad (de la Población 2, año 25)*

	j									
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	100	30	0	0	0	0	0	0	10	40
2	30	100	0	0	0	0	0	0	20	20
3	0	0	100	20	0	0	0	0	0	0
4	0	0	20	100	30	0	0	0	0	0
5	0	0	0	30	100	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	100	50	0
9	10	20	0	0	0	0	0	50	100	10
10	40	20	0	0	0	0	0	0	10	100

Nota: Los actores 1 y 10 son adyacentes.

CUADRO 6.2. *Compromisos que conforman el patrón de dos núcleos (de la Población 2, año 50)*

	j									
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	100	100	70	0	0	0	0	100	100	100
2	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100
3	70	100	100	0	0	0	0	100	90	70
4	0	0	0	100	100	60	100	0	0	0
5	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0
6	0	0	0	60	100	100	100	0	0	0
7	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0
8	100	100	100	0	0	0	0	100	100	100
9	100	100	90	0	0	0	0	100	100	100
10	100	100	70	0	0	0	0	100	100	100

Nota: Los actores 1 y 10 son adyacentes.

[10] En muchos casos, hubo núcleos demasiado amplios con uno o dos actores participando en ambos núcleos.

CUADRO 6.3. *Desarrollo de núcleos de compromisos (Luchas y pagos que involucran al individuo 5 de la Población 2 entre los años 25 y 50)*

Año	Actor activo	Actor blanco	Papeles	El compromiso con el actor 5 aumenta[a]	El compromiso con el actor5 disminuye[b]
30	4	5	--aAD-----		3,4
30	6	5	----PR----	6	
32	3	4	--ADd-----	4	3
32	4	5	--aADd----	6	3,4
33	4	3	-dDAa-----	4	2,3
34	5	7	----R-P---	7	
35	5	4	--dDAaa---	6,7	3,4
36	3	4	-aADd-----	7	2,3
36	8	7	aa--ddDAaa	6,7	1,2,8-10
37	6	5	----PR----	6	
38	8	7	aaa-ddDAaa	6,7	1-3,8-10
38	2	7	aAa-ddDaaa	6,7	1-3,8-10
41	8	7	aaa-ddDAaa	6,7	1-3,8-10
42	6	5	----PR----	6	
42	5	4	---PR-----	4	
44	5	7	----R-P---	7	
46	7	8	dddaaaADdd	4,6,7	1-3,8-10
47	7	8	dddaaaADdd	4,6,7	1-3,8-10
48	7	3	ddDaaaAddd	4,6,7	1-3,8-10
48	5	3	ddDaAaaddd	4,6,7	1-3,8-10

Claves de los papeles:
A = atacante,
D = defensor (que hemos traducimos como "atacado" en el texto principal [N.del T.]),
P = pagador,
a = aliado del atacante,
d = aliado del defensor,
R = receptor de tributo.
[a] Aumenta en un 10%, hasta el 100%.
[b] Disminuye en un 10%, hasta el 0%.

Para ver cómo esta población puede quedar dividida tan rápidamente en dos núcleos distintos, obsérvese la secuencia de pagos y luchas que involucra a un único actor ilustrativo, el actor 5. El cuadro 6.3 muestra las luchas y pagos que involucran al actor 5 desde el año 25, cuando sólo tenía un compromiso parcial, hasta el año 50, cuando estaba plenamente integrado en un núcleo de cuatro actores. Los acontecimientos del año 35 pueden servir para ilustrar la dinámica de los compromisos que condujo al desarrollo de distintos núcleos.

En ese año, 3 y 4 pelearon contra 5, 6 y 7. Esto llevó a 5 a incrementar su compromiso con 6 y 7 y al mismo tiempo disminuir su compromiso (si es que lo había) con 3 y 4. En general, a medida que las luchas tienen lugar, éstas incrementan los compromisos de los que pelean del mismo lado, y hacen que disminuyan los de los que pelean en bandos opuestos. Por lo tanto, a medida que comienzan a formarse los núcleos, tienden a tornarse cada vez más distintos. Esto es porque pares de actores que lucharon juntos se han comprometido aún más entre sí, y pares que lo han hecho en bandos opuestos perdieron cualquier compromiso parcial que pudieran haber tenido entre sí. Hacia el año 45, estaban teniendo lugar conflictos que involucraban a los 10 actores, conduciendo al patrón de dos núcleos fuertes y distintos que se mostró en el cuadro 6.2.

Una vez que hemos visto el modo como los compromisos pueden dar lugar a núcleos en una ilustración de la población 2, regresemos ahora al caso inusual de la población 1, donde el actor más fuerte colapsaba. La dinámica a lo largo de los 1.000 años completos se mostró en las figuras 6.1 y 6.2. Ahora podemos observar en detalle el período del colapso que tuvo lugar entre los años 890 y 950. Esto se muestra en la figura 6.7. En el año 911, el actor 10 puso en la mira al actor 9, lo que dio por resultado una "guerra mundial" que involucró a los actores 5-9 contra todos los otros. El actor 5, el actor más fuerte, se unió aun cuando tenía un compromiso mínimo con 9 porque no tenía ninguno con el actor 10. Dado que el compromiso de 5 con 9 estaba tan sólo al nivel del 10%, sólo contribuyó con un 10% de sus fuerzas a la lucha y sufrió sólo levemente. Pero más tarde en ese mismo año, 9 atacó otra vez a 10, y esta vez cuando 5 se sumó, contribuyó con un 20% de sus fuerzas (habiéndose comprometido un poco más con 9 así como todos los demás miembros de la alianza), y sufrió un poco más. Ahora 5 estaba aún más comprometido con todos en su emergente núcleo de 5-9. En los años 915-918 hubo otras cinco "guerras mundiales" con los mismos alineamientos (aunque con diferentes demandantes y blancos). A medida que ambos bandos se comprometieron más con los miembros de sus propios núcleos emergentes, se comprometieron cada vez más fuerzas y se causaron más daños. El resultado fue una marcada caída en la riquezas de los actores más grandes (5 en un lado y 2 y 4 en el otro).

Esta dramática declinación del actor más fuerte se debe a haberse visto arrastrado a luchas que envolvían a actores débiles para con los cuales había desarrollado compromisos. Esto recuerda lo que les ocurrió a dos potencias preponderantes, los Habsburgo en el siglo XVII y Gran Bretaña en los siglos XIX y XX. Paul Kennedy tiene un término apto para los peligros de los compromisos excesivos que las potencias fuertes tienden a adoptar: "sobretensión imperial" *["imperial*

overstretch"] (Kennedy, 1987). Eso es precisamente lo que se ilustra en la figura 6.7. Es impactante que un modelo simple desarrollado para generar nuevos actores políticos produjera un comportamiento que ha sido objeto de un debate fundamental sobre las políticas en los asuntos internacionales contemporáneos (por ejemplo, Nye, 1990).

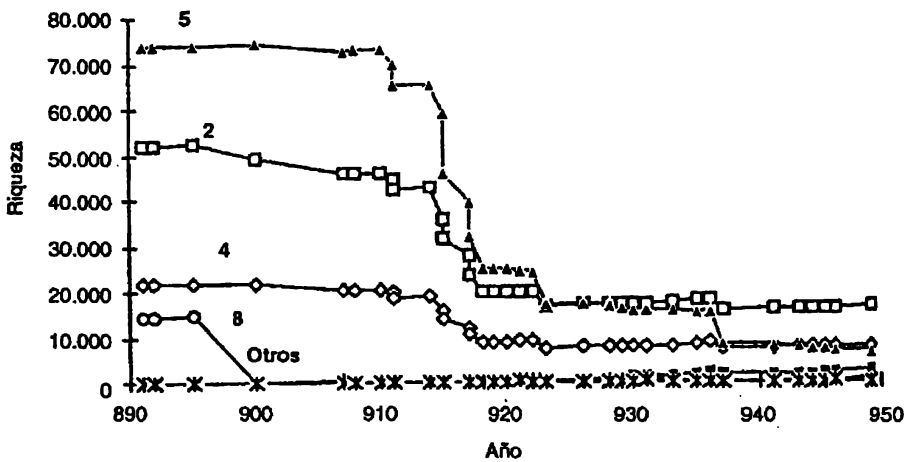

FIGURA 6.7. *Colapso tardío de un actor poderoso. Pagos y luchas que involucran al actor 5 (Población 1, años 890-950)*

Los núcleos no consisten sólo en el establecimiento de mutuos compromisos; son también situaciones de extracción de tributo. Es típico que el actor más fuerte en un determinado núcleo se mantenga fuerte y crezca haciendo demandas y cosechando tributo de los otros miembros de su núcleo. A medida que los actores van creciendo debido a su "cosecha" anual, el miembro fuerte hace demandas a los débiles y reduce sus riquezas. De hecho, a medida que el miembro fuerte selecciona blancos lucrativos, sus demandas tienden automáticamente a rotar entre los miembros del núcleo. Esta rotación tiene la consecuencia no planeada de impedir que cualquier blanco crezca hasta llegar a ser muy fuerte. Pero a veces un miembro débil de un núcleo escapa a las demandas por el tiempo suficiente como para llegar a ser lo bastante fuerte como para hacer sus propias demandas a miembros todavía más débiles. Si la suerte lo deja ser activo con la suficiente frecuencia en esta etapa crítica, puede cosechar suficiente tributo como para que el miembro más fuerte ya no encuentre ventajoso desafiar al actor que se ha hecho rico. Un ejemplo de este proceso ocurrió después del año 100 en la población 3 (véase figura 6.8). En este ejemplo, el actor 5 se las ha arreglado para crecer a la sombra del actor más fuerte de este núcleo, el actor 7.

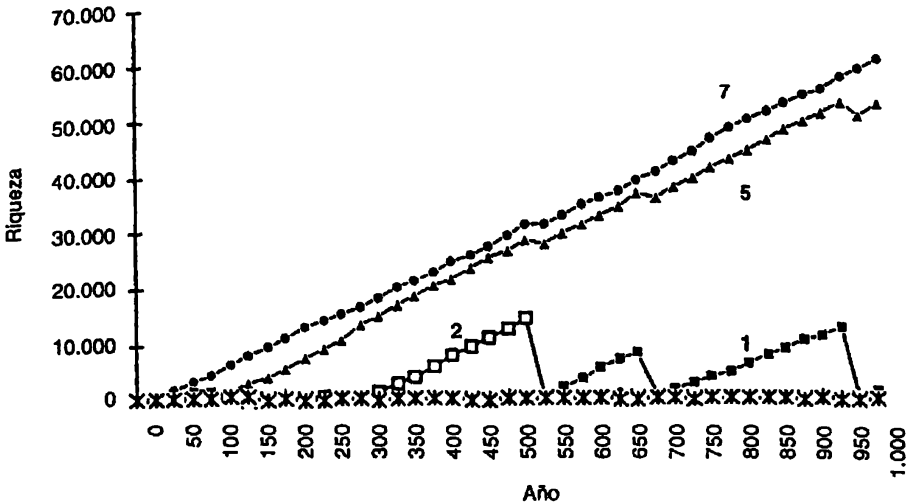

FIGURA 6.8. *Conflicto interno. Crecimiento de un segundo actor fuerte en un núcleo de los actores 4-8 (Población 3)*

Las demandas dentro de los núcleos no siempre llegan a resolverse a través de los pagos de tributo. De hecho, pueden ocurrir guerras civiles, esto es, peleas entre miembros del mismo núcleo. El miembro más fuerte de un núcleo por lo común es lo suficientemente fuerte como para impedir que esas luchas lleguen a tener lugar si toma partido. No obstante, si el miembro más fuerte estuviera igualmente comprometido con el atacante y con el atacado (tal vez por estar completamente comprometido con ambos), entonces permanecería neutral. Esto permite que ocurran guerras civiles si el actor activo encuentra un blanco lucrativo dentro del mismo núcleo, y si el blanco encuentra más costoso pagar tributo que combatir. El atacante y el atacado pueden, incluso, hallar aliados entre los otros si los otros no están comprometidos de igual modo con ambos bandos.

Sorprendentemente, las diferencias iniciales en la riqueza no inciden en la riqueza a largo plazo. En cinco poblaciones del modelo hubo cincuenta actores en total, catorce de los cuales fueron bastante exitosos, utilizando un criterio de riqueza de más de 10.000 después de 1.000 años. De estos catorce actores exitosos, la mitad tuvieron menos de la riqueza inicial promedio. Uno podría esperar que la riqueza inicial fuese una gran ventaja porque permitiría a un actor hacer demandas exitosas a sus vecinos desde el principio, y a partir de allí erigirse en una posición dominante en un núcleo. Pero tener una riqueza inicial sustancial también puede hacer de un actor un blanco lucrativo para otros actores fuertes. Además, tener una riqueza inicial sustancial puede volverlo a uno

demasiado confiado, dada la limitada racionalidad de las reglas de decisión en vigor.[11]

Los resultados del desempeño del modelo pueden resumirse ahora en términos de seis características:

1. *Las cosas usualmente no se asientan.* En cambio, la historia del modelo muestra una considerable complejidad. Por ejemplo, en época tan tardía como el año 900, una de las poblaciones sufrió una serie de peleas que destruyeron más de las tres cuartas partes de la riqueza global (véase la figura 6.2).
2. *Las historias muestran considerable variabilidad.* Las combinaciones de actores ricos, frecuencia de peleas y tendencias en la riqueza de la población difieren considerablemente de una población a otra. Aun si cada actor está utilizando las mismas reglas de decisión, los resultados difieren grandemente debido a las diferencias aleatorias en la riqueza inicial y en el orden en el cual los actores se hacen activos.
3. *La "sobretensión imperial" puede arruinar incluso al actor más fuerte.* A medida que un actor se compromete con otros debido a sus relaciones de tributo y a sus combates conjuntos, se expone a los riesgos de cualquier combate en el que los otros se vean inmersos. Dado que los actores deciden sobre las demandas y las respuestas basándose en sus propios cálculos, hasta un actor débil puede elegir hacer o resistir a una demanda por sus propias razones, y así arrastrar a la pelea a un actor fuerte que está comprometido con él.
4. *Pueden ocurrir guerras civiles entre los miembros pequeños de un núcleo.* Aunque el miembro más fuerte de un núcleo por lo común puede impedir una pelea entre los miembros del mismo núcleo tomando partido, no lo haría si tuviese igual compromiso con los dos bandos. Por lo tanto, los miembros más pequeños de un núcleo pueden pelear entre sí, mientras el miembro fuerte permanece a un costado.
5. *Un núcleo puede tener más que un miembro fuerte.* Los núcleos a menudo son como los imperios, con un actor poderoso y muchos débiles que le pagan tributo. Pero como lo hemos visto en el caso de la figura 6.8, también es posible que un segundo actor crezca hasta hacerse fuerte a la sombra del primero.

[11] Por ejemplo, supóngase que un actor con una riqueza de 500 hace una demanda a un vecino con 400. El vecino peleará en lugar de pagar (perdiendo 0,25 x 500 = 125, que es menos que el pago de la demanda estándar de 250. Dado que el blanco ha peleado, el demandante pierde 0,25 x 400 = 100, y está peor que antes por haber hecho la demanda. Si las riquezas iniciales hubiesen sido más altas que 1.000, esto no pasaría porque el costo de pelear sería mayor que la demanda estándar de 250.

6. *La dotación inicial no garantiza ni predice el éxito.* Antes de que se establezcan núcleos de compromisos, la riqueza puede ser una desventaja tanto como una ventaja. La razón es que la riqueza hace de un actor un blanco lucrativo para otros actores, y puede hacer que uno se confíe demasiado al hacer demandas.

¿Han surgido nuevos actores?

Retornando a la meta original del proyecto, ahora podemos evaluar hasta qué punto los núcleos emergentes de actores mutuamente comprometidos son realmente nuevos actores en un nivel más alto de organización. Recuérdese que un núcleo se define como un conjunto de actores que están comprometidos los unos con los otros a un nivel de por lo menos un 50%. Esta definición arroja un conjunto de candidatos que pueden ser, o no, actores políticos emergentes. Para ver si los núcleos realmente se comportan como actores políticos recién surgidos, retornamos al conjunto original de criterios:

1. Control efectivo sobre los subordinados.
   a. En la simulación, los núcleos no exhibieron rebelión alguna. No hubo luchas en un núcleo contra el miembro más fuerte. Nótese que este resultado no está establecido en los supuestos del modelo. Después de todo, sería posible que muchos miembros de un núcleo se uniesen para atacar al miembro más fuerte. (Hubo, sin embargo, algunos combates entre los actores secundarios dentro de un núcleo, tolerados por el más fuerte.)
   b. Sólo en raras ocasiones tuvo lugar una "política exterior" independiente. En esas raras ocasiones, el miembro más fuerte *fue* arrastrado al problema por el compromiso con un actor débil ("sobretensión imperial").
2. Acción colectiva ("todos para uno y uno para todos").
   a. El fuerte protegió al débil.
   b. Los miembros de un núcleo actuaron juntos con respecto a los de afuera, tanto en el ataque como en la defensa.
3. Se produjo el reconocimiento de los otros como actor, puesto que la acción conjunta de los núcleos fue prevista y tomada en cuenta por los de afuera. Nótese que el modelo supone que todos pueden anticipar el efecto de las alianzas existentes. El hecho de que los núcleos fuesen estables significa que el cálculo de corto plazo basado en las alianzas fue equivalente al reconocimiento de largo plazo de actores emergentes basado en núcleos estables.

En suma, el modelo de tributo produjo núcleos de compromiso mutuo, y estos núcleos exhibieron en alto grado todos los atributos de un nuevo actor político emergente. En efecto, incluso las excepciones fueron un reflejo de la clase de excepciones presentes en los asuntos internacionales, como lo ilustra la sobretensión imperial.

Variaciones del modelo

Una de las ventajas de un modelo de simulación es que es relativamente fácil responder a las preguntas tipo "y qué pasa si" sobre el efecto de variar los parámetros o las premisas del modelo. Éste es un muestreo muy breve de algunas de estas preguntas, con respuestas basadas en partidas ulteriores de simulación.

1. *¿Se asienta el modelo después de 1.000 años?* No. Incluso en partidas de más de 10.000 años hay grandes guerras repetidas, y los actores fuertes continúan ascendiendo y cayendo.
2. *¿Hay mejores reglas de decisión?* Sí. Un ejemplo es añadir una reserva por la cual no se ha de hacer una demanda a un blanco que encuentre más barato pelear que pagar. A un individuo que utiliza esta regla revisada le va mucho mejor que a los otros. Además, si todo el mundo está utilizando la regla revisada, a cualquier individuo único que esté utilizando la vieja regla le va peor que a los otros.
3. *¿Rinde dar y aceptar compromisos?* Sí. A un actor que no da ni acepta compromisos le va muy pobremente. Por otra parte, si sólo un actor da y acepta compromisos (y los otros no, excepto con ese actor), a ese actor le va muy bien.
4. *¿Qué pasa si todos pueden alcanzar a todos los demás (como en un océano de poder)?* En este caso extremo, un único actor poderoso tiende a dominar, y hay patrones relativamente densos de compromiso. Presumiblemente, en un espacio bidimensional, donde cada uno tiene más vecinos que en un espacio unidimensional pero menos que en el caso del "océano de poder", podría haber un nivel intermedio de dominación y densidad de compromiso.
5. *¿Qué pasa si la riqueza no entra en los cálculos de nadie?* Si las demandas se hacen sin prestar atención a la riqueza, y si todos pelean siempre, entonces el resultado son dos núcleos claros, uno de lo cuales tiene virtualmente toda la riqueza.
6. *¿Crecen las "islas de compromiso"?* Sí. Si dos actores adyacentes tienen inicialmente sólo un 10% de compromiso recíproco (y todos los otros compromi-

sos están en cero), estos dos actores desarrollan un compromiso completo con el otro, y ambos tienden a prosperar.

Conclusión: construyendo los peldaños hacia la teoría

El modelo del tributo proporciona una prueba de existencia de que es posible utilizar reglas locales simples para generar niveles más altos de organización a partir de actores elementales. En particular, muestra que una dinámica de "paga o verás" combinada con mecanismos para incrementar y disminuir lo compromisos puede llevar a los núcleos de actores a comportarse en gran medida de acuerdo con los criterios para los Estados políticos independientes.

Como la mayoría de los modelos de simulación, el modelo del tributo genera enormes cantidades de datos históricamente ricos. De hecho, un desafío fundamental en cualquier estudio de simulación es encontrar maneras de analizar y presentar datos que nos ayuden a ver el bosque en lugar de los árboles. El presente ensayo ilustra cuatro clases diferentes de análisis histórico. En efecto, estas son cuatro maneras distintas de observar la historia.

a. La historia desde el punto de vista de un único actor: tramas de riqueza relativa de los actores individuales a través del tiempo.
b. La historia desde un punto de vista global: tramas conjuntas de riqueza y número de luchas a través del tiempo.
c. La historia desde el punto de vista de la emergencia de nuevos actores: matrices de compromiso que revelan núcleos emergentes de actores.
d. La historia como "noticias": datos de acontecimientos, incluyendo cronologías de pagos de tributos y guerras libradas entre alianzas.

Tal vez el resultado más útil de un modelo de simulación es proporcionar nuevos modos de pensar sobre viejos problemas. En el presente caso, la necesidad de determinar si el modelo fue exitoso o no en generar nuevos actores políticos forzó la especificación de criterios explícitos para reconocer a un nuevo actor político siempre que surgiera. Esto es en sí mismo un ejercicio provechoso. Además, la misma necesidad llevó al desarrollo de diferentes maneras de considerar la historia, y especialmente maneras de analizar la interacción entre núcleos emergentes de actores.

En el futuro sería bueno utilizar estos desarrollos conceptuales y estadísticos para responder a algunas nuevas cuestiones sugeridas por el modelo. Por ejemplo, la dinámica que hemos visto en el modelo del tributo sugiere las siguientes preguntas de gran interés:

a. ¿Cuáles son las condiciones mínimas para que emerja un nuevo actor?
b. ¿Qué cosas tienden a promover esa emergencia?
c. ¿Cómo afecta a la dinámica el número de los actores elementales?
d. ¿Qué cosa puede llevar a colapsar a un actor agregado?
e. ¿Cómo pueden crecer lo nuevos actores a la sombra de los actores establecidos?

Aunque nadie creería que en sí mismas las respuestas dadas por el modelo a estas preguntas sean necesariamente ajustadas para el mundo real, una esperanza realista es que los conceptos desarrollados al generar las respuestas para el modelo sean útiles para ofrecer nuevas maneras de pensar sobre cuestiones comparables en el mundo real. En efecto, comprender la dinámica del modelo del tributo podría también sugerir hipótesis específicas que podrían probarse con los datos del mundo real. Además, el estudio de un modelo, como el modelo del tributo, puede proporcionar la base para intuiciones acerca del modo en que aun los modelos más simples pueden desarrollarse de manera que puedan permitir intuiciones más profundas sobre cuestiones relativas a las organizaciones políticas emergentes.

Finalmente, un modelo de simulación como el modelo del tributo puede conducir a intuiciones acerca de dónde podría haber la posibilidad de influir en las políticas en el mundo real. Por ejemplo, uno podría ser capaz de identificar situaciones en las que leves cambios en el sistema podrían conducir a resultados sustancialmente mejorados; en términos de menos guerras destructivas o mayor coordinación de la acción política. Si supiéramos cuándo inversiones menores podrían llevar a ganancias mayores, tendríamos claves valiosas para considerar una influencia en las políticas en el mundo real; el mundo en el que evitar las guerras y alcanzar una sustentabilidad realmente importa.

Referencias

AXELROD, R. (1984), *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books. [Trad. esp.: *La evolución de la cooperación*, Madrid, Alianza, 1984.]

AXELROD, R. y D. S. Bennett (1993), "A Landscape Theory of Aggregation", en *British Journal of Political Science*, 23, pp. 211-233. Incluido como capítulo 4 en este volumen.

BUENO DE MESQUITA, B. y D. Lalman (1992), *War and Reason: Domestic and International Imperatives*, New Haven, Yale University Press.

BUSS, L.W. 1987. *The Evolution of Individuality*, Princeton, Princeton University Press.

CUSACK, T. R. y R. J. Stoll (1990), *Exploring Realpolitik: Probing International Relations Theory with Computer Simulation*, Boulder, Lynne Reinner.

EPSTEIN, J. M. (1985), *The Calculus of Conventional War: Dynamic Analysis Without Lanchester Theory*, Washington, Brookings.

FONTANA, W. (1991), "Functional Self-Organization in Complex Systems", en L. Nadel y D. Stein (comps.), *1990 Lectures in Complex Systems*, SFI Studies in the Science of Complexity, vol. 3, Redwood City, Calif., Addison-Wesley, pp. 407-426.

HARDIN, G. (1968), "The Tragedy of the Commons", en *Science*, 162, pp. 1243-1248.

HOLLAND, J. H. (1992), "Complex Adaptative Systems", en *Daedalus*, 121, pp. 17-30.

HEBB, D. O. (1949), *The Organization of Behavior*, Nueva York, Wiley.

HUTH, P. (1988), *Extended Deterrence and the Prevention of War*, New Haven, Yale University Press.

KENNEDY, P. (1987), *The Rise and Fall of the Great Powers*, Nueva York, Random House. [Trad. esp.: *Auge y caída de las grandes potencias*, Barcelona, Plaza y Janes, 1992.]

LANCHESTER, F. W. (1916), *Aircraft in Warfare: The Dawn of the First Arm*, Londres, Constable. Los capítulos clave fueron reimpresos como "Mathematics in Warfare", en J. Newman(comp.), *The World of Mathematics*, Nueva York, Simon and Schuster, 1956.

MINSKY, M. (1985), *Society of the Mind*, Nueva York, Simon and Schuster.

Nye, J.S., Jr. (1990), *Bound to Lead, The Changing Nature of American Power*, Nueva York, Basic Books.

POWELL, R. (1990), *Nuclear Deterrence Theory: The Search for Credibility*, Cambridge (Inglaterra), Cambridge University Press.

SCHELLING, T. (1960), *The Strategy of Conflict*, Nueva York, Oxford University Press.

STEIN, D. L. (comp.) (1989), *Lectures in the Sciences of Complexity*, Redwood City, Addison-Wesley.

TILLY, C. (1985), "War Making and State Making as Organized Crime", en P. B. Evans, D. H. Rueschemeyer y T. A. Skocpol (comps.), *Bringing the State Back In*, Cambridge (Inglaterra), Cambridge University Press, pp. 169-191.

—— (1990), *Coercion, Capital, and European States, AD 990–1990*, Oxford, Basil Blackwell.

7. Diseminar cultura

Este capítulo trata con la pregunta fundamental sobre cómo nos convertimos en quienes somos a través de nuestras interacciones con los otros. El origen directo de este capítulo es similar a la motivación del capítulo precedente: un deseo de comprender cómo surgen las naciones. En el capítulo anterior hice hincapié en las amenazas y las guerras como mecanismos para el desarrollo de nuevos actores políticos a partir de la competencia y la colaboración de actores políticos más elementales. Esta vez quise estudiar el proceso aun más fundamental de cómo evolucionan las comunidades en primer lugar. Me parecía que una parte clave del proceso era el desarrollo de suficiente cultura compartida como para que un grupo de personas pudieran trabajar bien juntas. Reconocí que en los tiempos modernos, los gobiernos mismos promueven la cultura a través de mecanismos poderosos, como la escolaridad general y la regulación de los medios masivos. Pero estaba principalmente interesado en la forma en que opera la diseminación de cultura por debajo y en realidad antes de las actividades de los gobiernos poderosos.[1] ¿Cómo llegan las personas a compartir lo suficiente en materia de lenguaje, hábitos, creencias y valores como para poder construir la base de instituciones comunes, tales como un gobierno efectivo?

El abordaje que adopté fue el de modelar la influencia social: el modo como las personas tienden a influirse unas a otras en el proceso mismo de la interacción. Mi interés académico en la influencia social se remonta veinte años atrás, cuando me ocupé del modo como las personas tratan de persuadirse unas a otras, especialmente en la argumentación de políticas exteriores. En ese contexto comparé y contrasté los estilos de los líderes británicos, alemanes y japoneses en términos del patrón de creencias causales que expusieron al tratar de persuadir a otros de adoptar las políticas que ellos preferían (Axelrod, 1976 y 1977a). Tenía además un interés de larga data en la manera como encajan más o menos entre sí las partes separadas del sistema de creencias y valores de una persona.

[1] No utilizo el término más habitual *difusión de cultura* porque en antropología ese término ha adoptado connotaciones acerca de la propagación de la supuestamente "superior" (o al menos más atractiva) cultura occidental.

Éste es un interés que se retrotrae a la primera de todas mis publicaciones, que versaba sobre la estructura de la opinión pública en asuntos de gobierno (Axelrod, 1967; véase también Axelrod, 1973 y 1977b).

En realidad, mi interés en la influencia social data de aun antes del comienzo de mi carrera académica. Recuerdo claramente una redacción que se me encomendó cuando tenía catorce años. El ayuntamiento de nuestra ciudad, Evanston, Illinois, estaba considerando una propuesta de hacer intercambios de entrenamiento entre oficiales de policía y bomberos. Mi maestro nos pidió que escribiéramos sobre si ésta era una buena idea o no. A mí el plan me pareció ciertamente una buena idea porque la policía aprendería algunas habilidades adicionales de primeros auxilios para usarlas si eran los primeros en llegar a la escena del fuego, y los bomberos aprenderían algunas técnicas de control de la multitud para usarlas en caso de que *ellos* fueran los primeros en llegar a la escena. Llamé a la estación de bomberos local para ver qué pensaban allí. El hombre que atendió el teléfono me dijo: "No sé mucho de eso, pero aquí estamos todos en contra". Yo no estaba seguro sobre aquello en contra de lo que estaban todos allí (probablemente, la seguridad en el trabajo), pero la respuesta me dejó una profunda impresión: era posible tener una opinión basada en la influencia social en lugar del análisis independiente. Además, uno podía estar muy cómodo con este método para hacerse opiniones. A medida que pensé en ello, me di cuenta de que el bombero con el que hablé tal vez era más sensato de lo que había pensado al principio. En muchas circunstancias, la confianza en la influencia social podría ser una manera bastante sensata de hacerse una opinión.

El presente modelo de la influencia social es el modelo más simple en este volumen, y tal vez el más ambicioso. Es el más simple en el sentido de que su mecanismo básico sigue una regla simple que no deja espacio para la opción estratégica. Es de un estilo estrictamente adaptativo. También es el más simple porque toda la descripción del contexto y la dinámica del modelo pueden presentarse en dos o tres frases. Es el modelo más ambicioso de este volumen porque se ocupa del modo como están conformadas nuestras identidades mismas: lo que somos afecta a aquellos con quiénes interactuamos, y aquellos con quienes interactuamos conforman a aquellos en quienes nos convertimos.

Aparte de ser el modelo más simple y ambicioso en este volumen, es también el más sorprendente y el más polémico. Es el más sorprendente porque cuando simulé una población con mi modelo, mis expectativas estaban equivocadas con tanta frecuencia como acertadas, aun cuando era yo quien había diseñado el modelo. Además, uno de los resultados clave era tan contrario a la intuición que al principio creí que tenía que deberse a un error de programa-

ción. Pero no fue así.[2] El modelo es el más polémico porque fue el que me trajo más inconvenientes para publicar. Primero lo envié a la *American Political Science Review*, donde uno de los críticos dijo sobre el modelo: "Es de la clase que los científicos políticos fueron educados para odiar. Nadie realiza opciones. Nadie busca influenciar a nadie más. El cambio no tiene costos, política o económicamente. El cambio cultural les ocurre a todos en una comunidad, sin líderes ni rezagados. En suma, la política está ausente".

Sin embargo, ese crítico estaba "encantado" con el manuscrito e instaba a publicarlo. Los otros dos críticos pensaron que el manuscrito necesitaba más política, y recomendaban o bien revisiones sustanciales o bien su envío a una publicación de otro campo. Elegí el segundo curso de acción. Hice una variedad de correcciones y aclaraciones sugeridas por los críticos, y lo envié a la *American Sociological Review*.

La *American Sociological Review* no tuvo inconvenientes en ver el trabajo como sociología propiamente dicha. La subeditora a quien se asignó el manuscrito escribió: "Éste es uno de los trabajos de simulación más interesantes que he leído", pero "no soy muy entusiasta en general acerca de este tipo de trabajos". Todos los críticos pensaron que el trabajo era realmente prometedor (cada uno de ellos con su propio conjunto de correcciones), y el resumen de la subeditora fue: "Yo sugiero que deberíamos honrar el consejo de los críticos: invitar a revisarlo y volver a presentarlo".

Dado que la subeditora no era entusiasta de la simulación en general, decidí que sería difícil convencerla de aceptar el trabajo mientras los críticos siguieran teniendo alguna reserva, por mínima que fuera. Por lo tanto, decidí enviarlo a alguna otra parte.

Mi tercer intento fue el *Journal of Conflict Resolution*, conocido por su espectro interdisciplinario. Esta vez, uno de los críticos fue completamente positivo y el otro sólo pidió que yo expandiera el modelo para incluir la corriente cultural. Con el aliento del editor, hice un intento en ese sentido, pero descubrí que los resultados eran tan complicados que me sentí incapaz de dar una explicación coherente de ellos. Por lo tanto, propuse incluir una breve descripción de las dificultades de tratar con la corriente cultural, y dejar su solución para una futura investigación. El editor estuvo de acuerdo, y aceptó el trabajo con este agregado a la sección sobre "Extensiones del modelo". La moraleja del cuento, supongo, es que la persistencia tiene su recompensa.

2 El apéndice A ofrece una réplica independiente de este modelo y confirma sus resultados clave.

Referencias

AXELROD, Robert (1967), "The Structure of Public Opinion on Policy Issues", en *Public Opinion Quarterly*, 31, pp. 51-60.

—— (1973), "Schema Theory: An Information Processing Model of Perception and Cognition", en *American Political Science Review*, 67, pp. 11248-11266.

—— (1976), *The Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*, Princeton, Princeton University Press.

—— (1977a), "Argumentation in Foreign Policy Settings: Britain in 1918, Munich in 1938, and Japan in 1970", en *Journal of Conflict Resolution*, 21, pp. 727-756.

—— (1977b), "How a Schema Is Used to Intercept Information", en G. Matthew Bonham y Michael J. Shapiro, (comps.), *Thought and Action in Foreign Policy*, Basel, Berkhauser Verlag, pp. 226-241.

DISEMINAR CULTURA

La diseminación cultural: un modelo con convergencia local y polarización global*

Robert Axelrod[1]

Resumen: *A pesar de las tendencias hacia la convergencia, las diferencias entre individuos y entre grupos continúan existiendo en sus creencias, actitudes y comportamiento. Un modelo adaptativo basado en los agentes revela los efectos de un mecanismo de influencia social convergente. Los actores están colocados en lugares fijos. La premisa básica es que cuanto más parecido es un actor a un vecino, más probable es que ese actor adopte uno de los rasgos del vecino. A diferencia de modelos previos de influencia social o cambio cultural que tratan los aspectos uno por vez, el modelo propuesto toma en cuenta las interacciones entre diferentes aspectos. El modelo ilustra el modo como la convergencia local puede generar polarización global. Las simulaciones muestran que el número de regiones homogéneas estables disminuye con el mayor número de aspectos, aumenta con el mayor número de rasgos alternativos por aspecto, disminuye con el aumento del espectro de interacción, y (lo que es más sorprendente) disminuye cuando el territorio geográfico crece más allá de determinada extensión.*

Mantenimiento de las diferencias

Si las personas tienden a volverse más semejantes en sus creencias, actitudes y comportamiento cuando interactúan, ¿por qué no desaparecen en algún mo-

* Reimpreso a partir de Robert Axelrod, "The Dissemination of Culture: A Model with Local Convergence and Global Polarization", *Journal of Conflict Resolution*, 41 (1997), pp. 203-226. Reimpreso con autorización de Sage Publications, Inc.

[1] Agradezco a Chris Achen, David Axelrod, Rob Axtell, Scott Bennett, Arthur Burks, Lars-Erik Cederman, Michael Cohen, Paul Courant, Joshua Epstein, Jay Harrington, Larry Hirschfeld, John Holland, David Lazer, Robert Pahre, Rick Riolo, Carl Simon y Dan Sperber. Por el apoyo financiero agradezco a Project 2050 a través del Santa Fe Institute, y la LS&A Enrichment Found de la Universidad de Michigan.

mento todas esas diferencias? Los científicos sociales han propuesto muchos mecanismos para responder a esta pregunta. El propósito del presente ensayo es explorar un mecanismo más. El mecanismo que se propone aquí se ocupa del modo como las personas se vuelven, efectivamente, más similares a medida que interactúan, pero también ofrece una explicación de por qué la tendencia a converger se detiene antes de que alcance a completarse. Proporciona, por lo tanto, un nuevo tipo de explicación de por qué no nos volvemos todos semejantes. Dado que el mecanismo propuesto puede existir a la par de otros mecanismos, puede vérselo como complementario de explicaciones anteriores, en lugar de necesariamente en competencia con ellas.

Desafortunadamente, no hay ningún término bueno para describir el espectro de las cosas acerca de las cuales las personas pueden influirse unas a las otras. Aunque las creencias, actitudes y comportamiento cubren un gran espectro en realidad, hay aun más cosas sobre las cuales se extiende la influencia interpersonal, como el lenguaje, el arte, los estándares técnicos y las normas sociales. El término más genérico para las cosas sobre las cuales las personas se influyen unas a otras es *cultura.* Por lo tanto, el término *cultura* se utilizará para indicar el conjunto de atributos individuales que están sujetos a la influencia social. Debería enfatizarse que no hay ninguna connotación acerca de que en una determinada sociedad hay una cultura uniforme. Además, el significado o la significación de los elementos de la cultura no se especifica. En cambio, la cuestión que se investiga es cómo se influyen las personas entre sí en un determinado conjunto de aspectos, y por qué esta influencia no conduce a la homogeneidad.

El proceso por el cual las personas devienen similares unas a otras o conservan sus diferencias es central a una variedad de tópicos importantes, entre ellos, los siguientes:

1. *Formación de los Estados.* La formación de un Estado nacional está facilitada cuando su pueblo tiene significados compartidos y hábitos articulados de comunicación (Deutsch, 1953 y 1969). Giddens (1979) y Anderson (1991) muestran cómo necesita el Estado del nacionalismo, y el sentido de una comunidad imaginada es central para la consecución del nacionalismo. Por ende, el proceso de una convergencia al menos parcial es fundamental para la formación de los Estados.
2. *Conflictos de sucesión.* Aunque es típico que los estados, una vez formados, tiendan a reducir las escisiones internas, tales escisiones a menudo persisten. Las guerras civiles, especialmente las guerras de sucesión, tienden a producirse alrededor de conflictos no resueltos en las sociedades, sobre todo cuando

los conflictos tienen una clara base territorial. En efecto, incluso los observadores expertos se vieron sorprendidos por el grado en que las líneas de fractura sobrevivieron a décadas de esfuerzo estatal por reducirlas en la Unión Soviética. El proceso por el cual las personas se tornan similares unas a otras o mantienen sus diferencias es claramente vital para la comprensión del modo como los Estados sobreviven o se desintegran.

3. *Integración transnacional.* En una escala más amplia, los mismos procesos son centrales para las perspectivas de desarrollo ulterior de instituciones transnacionales como la Comunidad Europea, el GATT y las Naciones Unidas. El desarrollo de instituciones internacionales y especialmente transnacionales depende en gran medida del grado en que las normas y la facilidad de comprensión lleguen a ser compartidas a través de territorios más extensos que las fronteras de los Estados actuales.
4. *Escisiones domésticas.* Se ha reconocido ampliamente que la política doméstica cotidiana de las democracias está conformada en gran medida por la naturaleza de las escisiones societarias (por ejemplo, Lipset y otros, 1956; Campbell y otros, 1960; Key, 1961). Una pregunta importante es si esas escisiones se verán aminoradas o intensificadas a través de las interacciones locales (por ejemplo, Coleman, 1957; Putnam, 1966). El debate actual sobre el multiculturalismo en Estados Unidos es sólo un ejemplo de nuestro interés por la dinámica de la diferencia cultural.

Además de estos tópicos específicos, los efectos del cambio cultural en el sentido más amplio han sido cuestiones centrales desde hace largo tiempo. Comprender cómo puede llegar a establecerse una cultura, cómo puede propagarse, y cómo puede sostenerse tiene una importancia creciente en el mundo de hoy. Nos preguntamos si el inglés se convertirá en una lengua cuasiuniversal, si pueden establecerse estándares para nuevas tecnologías, y si las canciones y las vestimentas populares se volverán universales. Aplaudimos la propagación de una cultura común cuando favorece la comunicación eficiente, impide conflictos innecesarios y promueve acciones en favor de necesidades globales como el desarrollo sustentable. Por otra parte, con la propagación de una cultura común, aborrecemos el daño causado a pueblos cuyas culturas son destruidas, la pérdida que representa para el resto de nosotros la merma de la sabiduría encarnada en esas culturas que desaparecen, y la pérdida que significa para todos la extinción del potencial adaptativo que la diversidad cultural hace posible.

Las explicaciones existentes de por qué las diferencias son perdurables emplean una amplia variedad de mecanismos. Todas son explicaciones válidas bajo condiciones específicas.

1. *Diferenciación social.* Los grupos se diferencian activamente unos de otros (Simmel, [1908] 1955). Las personas que se identifican con un grupo a menudo enfatizan e incluso promueven las diferencias con los miembros de otros grupos. En el caso de los grupos étnicos, esta diferenciación puede llevar al estrechamiento de las fronteras culturales y geográficas entre grupos (Barth, 1969; Hannan, 1979).
2. *Caprichos y modas.* Cuando las personas quieren ser diferentes de las otras, los caprichos van y vienen. Cuando algunos quieren ser diferentes pero otros quieren copiarlos, el resultado es la moda: una interminable cacería en la que los seguidores corren detrás de los líderes.
3. *Preferencia por puntos de vista extremos.* Las tendencias hacia la homogeneidad de opinión pueden contrarrestarse si las personas tienden a preferir las posiciones extremas sobre los asuntos. Esta idea fue propuesta por primera vez por Abelson y Bernstein (1963). Recientes modelos de simulación han mostrado cómo este mecanismo puede llevar a la polarización y a la formación de núcleos (Nowak y otros, 1990; Latane y otros, 1994).
4. *Corriente.* Puede haber cambios aleatorios en los rasgos individuales. Esto puede llevar a la diferenciación entre subgrupos. Por ejemplo, los idiomas evolucionan y se diferencian lentamente.
5. *Aislación geográfica.* Si las personas se mudan para estar cerca de otras que son similares a ellas, el resultado puede ser el nucleamiento de personas similares (por ejemplo, Schelling, 1978). Llevadas a extremos, la segregación geográfica u otras formas de segregación voluntaria o impuesta pueden mantener diferencias al reducir las interacciones entre miembros de grupos diferentes.
6. *Especialización.* Las personas pueden tener intereses que sean al menos parcialmente resistentes a la influencia social. Esta resistencia ha sido modelada como factores que tienen un efecto persistente sobre un individuo a pesar de la influencia social (Friedkin y Johnsen, 1990; Marsden y Friedkin, 1993).
7. *Entorno o tecnología cambiantes.* Cuando el entorno está cambiando constantemente, la respuesta puede ser a su vez constantemente cambiante. Si el entorno está cambiando más rápido de lo que las personas pueden responder a él, las diferencias pueden persistir en tanto que las diversas personas o grupos cambian de maneras distintas en respuesta a su entorno siempre cambiante.

A pesar de la existencia de tantos mecanismos para el mantenimiento de las diferencias, ninguno de ellos toma en cuenta el principio fundamental de la comunicación humana según el cual "la transferencia de ideas ocurre con más

frecuencia entre individuos [...] que son similares en ciertos atributos tales como las creencias, la educación, el estatus social y cosas parecidas" (Rogers, 1983: 274; véase también Homans, 1950). El modelo de la influencia social que se ofrece aquí abstrae este principio fundamental para decir que la comunicación es más efectiva entre personas similares. Dicho de otra manera: la probabilidad de que un determinado aspecto cultural se propague de un individuo (o grupo) a otro depende de cuántos otros aspectos puedan ya tener en común. La similitud conduce a la interacción, y la interacción conduce a más similitud aún. Por razones que se exploran más abajo, este proceso no tiene por qué llevar a una convergencia completa. En efecto, lo más interesante del modelo es la forma en que puede generar pocas o muchas regiones culturales distintas según el alcance de las posibilidades culturales, el espectro de las interacciones y la extensión del territorio geográfico.

El presente modelo ofrece un nuevo modo de observar el proceso dinámico de la influencia social. El modelo no está concebido para predecir acontecimientos históricos particulares. En cambio, pretende mostrar las consecuencias de unos pocos supuestos simples acerca del modo como las personas (o los grupos) son influidos por aquellos que los rodean.

Aproximaciones a la influencia social

Aunque se ha propuesto más de un centenar de definiciones de "cultura" (Kroeber y Kluckhorn, 1952), todo el mundo está de acuerdo en que la cultura es algo que las personas aprenden unas de las otras. Para el presente propósito, se asume que la cultura satisface dos premisas simples: es más probable que las personas interactúen con otras que comparten muchos de sus atributos culturales, y las interacciones entre dos personas tienden a aumentar el número de los atributos que comparten. Por ejemplo, es más probable que una persona converse con alguien que habla una lengua similar que con alguien que habla una lengua disímil, y el acto mismo de comunicación tiende a tornar más similares aún sus futuros parámetros de habla. El proceso de influencia social se aplica no sólo al lenguaje, sino también a las creencias, actitudes y comportamientos. Se aplica a todo, desde el estilo del vestir a los valores fundamentales, y desde la adopción de los números arábigos a la adopción de estándares de computadoras.

Los antropólogos han adoptado dos abordajes diferentes del estudio del cambio cultural. Los difusionistas trataban una determinada cultura como un conjunto de rasgos distintivos, cada uno de los cuales podría ser traspasado (o difundido) a otra cultura (para dar un repaso a este enfoque, véase Voget, 1975).

Más recientemente, la mayoría de los antropólogos han enfatizado las interconexiones entre los muchos rasgos que componen una cultura, considerando la cultura como un sistema de símbolos por los cuales las personas confieren significación a su propia experiencia (por ejemplo, Geertz, 1973). Esta aproximación holística subraya que el significado de un rasgo determinado está encajado en el conjunto total de las relaciones con los otros rasgos y, en consecuencia, que una determinada cultura tiende a ser un paquete más o menos integrado. Desafortunadamente, ninguno de esos abordajes ha hecho mucho por formalizar sus ideas sobre el cambio cultural en modelos formales cuyas implicancias pudieran explorarse sistemáticamente. (Para algunas excepciones, véase Renfrew, 1973; Renfrew y Cooke, 1979; Sabloff, 1981.)

Otros científicos sociales han ofrecido modelos del modo como opera la influencia social dentro de una determinada sociedad. Estos modelos de cambio dentro de una única sociedad ayudan también a iluminar el modo como un grupo podría influenciar a otro, y, por lo tanto, la forma en que una cultura podría influenciar a otra. Un ejemplo temprano es el modelo sociológico de Coleman de la propagación del hábito de fumar entre los adolescentes, donde la amistad afecta al comportamiento y el comportamiento afecta a la amistad (1965). También los psicólogos y los sociólogos han propuesto modelos de influencia social (Nowak y otros, 1990; Friedkin y Johnsen, 1990; Carley, 1991; Mardsen y Friedkin, 1993). Los cientistas políticos han construido modelos de cambio de actitud en campañas políticas (Putnam, 1966; Huckfeldt y Sprague, 1991; Brown y McBurnett, 1993). Los teóricos de la organización han modelado la influencia social en organizaciones formales (March, 1991; Harrison y Carroll, 1991). También se han desarrollado teorías sobre cambios en las creencias, actitudes y comportamientos para la propagación de normas sociales (por ejemplo, Lewis, 1967; Ullmann-Margalit, 1977; Axelrod, 1986), la propagación de conocimiento (Carley, 1991), la difusión de innovaciones (véase Rogers, 1983; Nelson y Winter, 1982), y el establecimiento de estándares técnicos (Saloner y Farrell, 1986; Axelrod y otros, 1995). Finalmente, los biólogos han modelado la contribución conjunta de la genética y el aprendizaje a la influencia social (Cavalli-Sforza y Feldman, 1981; Lumsden y Wilson, 1981; Boyd y Richerson, 1985: véase también Durham, 1991).

Un hecho notable sobre estos modelos es que tratan cada aspecto de una cultura independientemente de los otros aspectos.[2]

[2] Una excepción es el modelo de Carley (1991) de propagación de conocimiento. En este modelo, las diferencias grupales desaparecen a menos que los miembros de grupos diferentes no compartan inicialmente ningún conocimiento en común. La única otra excepción es el modelo de

El modelo de influencia social que se da en este ensayo es nuevo en dos aspectos. Primero, toma en cuenta de manera explícita que el efecto de un aspecto cultural depende de la presencia o ausencia de otros aspectos culturales. Segundo, toma en cuenta que individuos similares tienen más probabilidades de influenciarse unos a otros que individuos disímiles. El otro único modelo formal que trata la cultura como multidimensional no toma en cuenta el grado de similitud cultural en su mecanismo para la influencia social (Epstein y Axtell, 1996).[3]

La metodología del presente estudio se basa en tres principios:

1. *Modelado basado en los agentes.* Se especifican mecanismos de cambio para actores locales, y luego se examinan las consecuencias de estos mecanismos para descubrir las propiedades emergentes del sistema cuando muchos actores interactúan.[4] La simulación por computadora es de especial ayuda para esta aproximación de abajo arriba *[botton-up],* pero su uso antecede a la disponibilidad de las computadoras personales (por ejemplo, Schelling, 1978).
2. *Ninguna autoridad central.* La ausencia de un agente coordinador central en el modelo es consistente con la aproximación basada en los agentes. Sin duda es verdad que aspectos importantes de las culturas a veces llegan a ser estandarizados, canonizados y diseminados por autoridades poderosas como los padres de la Iglesia, Webster y Napoleón. El presente modelo, sin embargo, trata con el proceso de la influencia social antes (o a la par) de las acciones de esas autoridades. Busca comprender cuánto de la emergencia y la estabilidad cultural puede explicarse sin recurrir a la influencia coordinadora de la autoridad centralizada.
3. *Agentes adaptativos en lugar de racionales.* Se asume que los individuos siguen reglas simples sobre dar y recibir influencia. Estas reglas no son necesariamente deducibles de cualquier principio de cálculo racional basado en costos

---

"sesgo indirecto" de Boyd y Richerson (1985), que permite que el atractivo de un rasgo cultural sea afectado por un rasgo de control. Pero incluso en este modelo, se considera un solo rasgo cultural.

[3] El modelo "Sugarscape" de Epstein y Axtell es muy rico, ya que incorpora el comercio, la migración, el combate, la enfermedad y el apareamiento. Por ejemplo, los actores de cultura similar tienen la posibilidad de aparearse, y los actores de cultura disímil tienen la posibilidad de luchar.

[4] Los modelos basados en los agentes en las ciencias políticas normalmente han enfocado los procesos de conflicto (como las guerras y las alianzas militares) antes que la influencia social. Ejemplos de ello son Bremer y Mihalka (1977), Schrodt (1981), Cusack y Stoll (1990), Axelrod (1995) y Cederman (de próxima aparición). Los modelos basados en los agentes que tratan con la influencia social son Huckfeldt y Sprague (1991) y Brown y McBurnett (1993). Un modelo de espectro amplio es el de Epstein y Axtell (1996).

y beneficios; o en el análisis estratégico anticipatorio típico de la teoría de los juegos. En cambio, los agentes simplemente se adaptan a su entorno.

El modelo

Se considera que la cultura es lo que la influencia social influye. Para el presente propósito, el énfasis no está puesto en el contenido de una cultura específica, sino más bien en la manera como cualquier cultura tiene probabilidades de emerger y propagarse. Por lo tanto, el modelo supone que la cultura de un individuo puede ser descrita en términos de sus atributos, tales como la lengua, la religión, la tecnología, el estilo del vestir, etcétera.

Dado que el modelo puede abstraerse del contenido específico de la cultura de un individuo, describe una cultura como una lista de *aspectos* o dimensiones de cultura. Para cada aspecto hay un conjunto de *rasgos*, que son los valores alternativos que el aspecto puede tener. Por ejemplo, un aspecto de una cultura podría ser el color de cinturón que se usa, y los rasgos podrían ser los diversos colores alternativos que podrían usarse en una sociedad. Para ser concretos, supóngase que hay cinco aspectos y cada aspecto puede adoptar uno cualquiera entre diez rasgos. Entonces, una cultura puede ser descrita como una lista de cinco dígitos, tales como 8, 7, 2, 5 y 4. En este caso, el primer aspecto cultural tiene el octavo de sus posibles valores. Esta formulación abstracta significa que dos individuos tienen la misma cultura si tienen los mismos rasgos para cada uno de los cinco aspectos. La formulación le permite a uno definir el grado de similitud cultural entre dos individuos como el porcentaje de sus aspectos que tienen idéntico rasgo.

El modelo incluye una distribución geográfica de los agentes individuales. Un ejemplo simple sería un conjunto de 100 sitios, ordenados en una grilla de diez por diez. Dado que no hay ningún movimiento en el modelo, puede pensarse en los sitios en sí como en aldeas homogéneas. Estos sitios son los actores básicos del modelo. Cada sitio sólo puede interactuar con sus vecinos inmediatos (norte, este, sur y oeste). Los sitios en el borde del mapa tienen sólo tres vecinos, y los sitios de las esquinas tienen sólo dos vecinos.

El cuadro 7.1 muestra una típica situación de inicio con culturas asignadas al azar. Como se esperaba, la mayoría de los sitios no comparten más de un aspecto con cualquiera de sus vecinos. El sitio subrayado, sin embargo, comparte dos aspectos (el cuarto y quinto aspecto) con su vecino del sur. Dado que estos dos sitios comparten dos de los cinco atributos, su similitud cultural es del 40%.

CUADRO 7.1. *Un conjunto inicial típico de culturas*

74741	87254	82330	17993	22978	82762	87476	26757	99313	32009
01948	09234	67730	89130	34210	85403	69411	81677	06789	24042
49447	46012	42628	86636	27405	39747	97450	71833	07192	87426
22781	85541	51585	84468	18122	60094	71819	51912	32095	11318
09581	89800	72031	19856	08071	97744	42533	33723	24659	03847
56352	34490	48416	55455	88600	78295	69896	96775	86714	02932
46238	38032	34235	45602	39891	84866	38456	78008	27136	50153
88136	21593	77404	17043	39238	81454	29464	74576	41924	43987
35682	19232	80173	81447	22884	58260	53436	13623	05729	43378
57816	55285	66329	30462	36729	13341	43986	45578	64585	47330

Nota: El sitio subrayado y el que se encuentra inmediatamente al sur comparten rasgos para dos de las cinco características culturales, lo que hace una similitud cultural del 40%.

El proceso de la influencia social en el modelo puede describirse como una serie de acontecimientos. La idea básica es que los agentes que son similares unos a otros tienen probabilidades de interactuar y así tornarse aún más similares. Esto se implementa asumiendo que la posibilidad de interacción es proporcional a la similitud cultural que dos vecinos ya tienen. He aquí, entonces, la exposición formal de toda la dinámica del modelo:

Repítanse los siguientes pasos para tantos acontecimientos como se desee.

Paso 1. Al azar, elíjase un sitio para ser activo, y elíjase uno de los vecinos.

Paso 2. Con probabilidades equivalentes a su similitud cultural, estos dos sitios interactúan. Una interacción consiste en seleccionar al azar un aspecto en el que el sitio activo y su vecino difieren (si es que lo hay), y cambiar el rasgo del sitio activo en este aspecto al rasgo del vecino en este aspecto.[5]

Este proceso puede ilustrarse utilizando el cuadro 7.1. En el paso 1, supóngase que el sitio subrayado resulta seleccionado, junto con su vecino del sur. En el paso 2, el sitio activo y su vecino tienen un 40% de posibilidades de interactuar porque comparten rasgos para dos de sus cinco aspectos. Si interactúan, la cultura del sitio subrayado adoptaría el rasgo de uno de los aspectos que fuera diferente de la cultura de su vecino del sur. Por ejemplo, si

[5] Para aquellos que prefieren las exposiciones simbólicas, he aquí una descripción completa de cómo puede cambiar la cultura, c, en un sitio. Selecciónese al azar un sitio (s); un vecino (v), también al azar, de ese sitio; y un aspecto aleatorio (a). Sea $G(s, v)$ el conjunto de aspectos, g, tal que los rasgos culturales sean desiguales, esto es, $c(s, g) \neq c(v, g)$. Si $c(s, a) = c(v, a)$ y G no es vacío, entonces selecciónese un aspecto aleatorio, g, en $G(s, v)$, y aplíquese $c(s, g)$ a $c(v, g)$. Esta implementación del modelo se sirve del hecho de que la probabilidad de que un aspecto aleatorio, a, tenga el mismo rasgo en dos sitios equivale a la similitud cultural entre esos dos sitios.

el primer aspecto fuera el que ha de cambiar, entonces el valor de 6 del primer aspecto del vecino se convertiría en el valor del primer aspecto del sitio subrayado, cambiando su cultura de 82330 a 62330. Este cambio aumentará la similitud cultural de estos dos sitios del 40% al 60%, haciendo aún más fácil que converjan todavía más.[6]

Nótese que el sitio activado, más que su vecino, es el que padece el cambio. Esto se ha hecho así para garantizar que cada sitio tenga idéntica posibilidad de ser un candidato para la influencia social, aun cuando los sitios en el borde del mapa tengan menos vecinos que los sitios que se hallan en el interior.

La emergencia de regiones de cultura compartida

¿Cómo se desarrollan las regiones culturales? ¿Todos llegan a compartir la misma cultura, o se desarrollan distintas regiones culturales? ¿El sistema llega a asentarse. Y si es así, ¿cuánto tiempo le lleva hacerlo?

Para comenzar a responder a preguntas como éstas, conviene empezar con una única partida del modelo en el tiempo.[7] Para hacer más evidente el desarrollo de regiones culturales, podemos llevar nuestra atención de los detalles de la cultura en cada sitio a las similitudes culturales entre sitios adyacentes. Estas similitudes culturales pueden representarse en un mapa, como el de la figura 7.1 (a). Éste muestra las distancias (culturales) entre sitios adyacentes al comienzo. Nótese que la mayoría de las fromteras están dibujadas en negro, indicando que a lo sumo uno de los cinco aspectos es compartido. El sitio marcado "A" en la figura 7.1 (a) corresponde al sitio subrayado en el cuadro 7.1. Nótese que la frontera entre este sitio y el que está al sur del mismo está dibujada en gris oscuro, indicando que la similitud cultural entre ellos es del 40% al comienzo de la partida.

Los otros paneles de la figura 7.1 muestran lo que ocurre en el tiempo.[8] El tiempo se mide en acontecimientos, que representan la activación de un sitio.

[6] La simulación está hecha de un acontecimiento a la vez para evitar cualquier error de registro de activación sincrónica de los sitios. Véase Huberman y Glance (1993).

[7] El modelo puede ser mirado como un proceso Markov con estados absorbentes. Desafortunadamente, las herramientas matemáticas para analizar los procesos Markov, como el análisis del eigenvalor, no son de mucha ayuda en este caso porque las dinámicas son muy complejas. Por ejemplo, el número de estados posibles para la situación dada en el cuadro 7.1 es 10^{500}, que es mucho mayor que el número de átomos en el universo. Otros modelos basados en los agentes que pueden ser considerados como procesos Markov también han tenido que recurrir a la simulación por computadora (por ejemplo, Bremer y Mihalka, 1977; Schrodt, 1981; y Cusack y Stoll, 1990).

[8] El modelo está codificado en Pascal. Corriéndolo en una Macintosh Quadra 700, la partida mostrada en la figura 7.1 llevó once segundos. Véase la nota 12 para el acceso al código fuente.

Por ejemplo, la figura 7.1 (b) muestra el comienzo de la emergencia de regiones culturales distintas luego de 20.000 acontecimientos. Para nuestros propósitos, una *región cultural* puede definirse como un conjunto de sitios contiguos con idéntica cultura. Nótese que ya en esta etapa, muchas fronteras culturales han desaparecido en la medida en que algunas regiones culturales han crecido hasta incluir cuatro o cinco sitios.

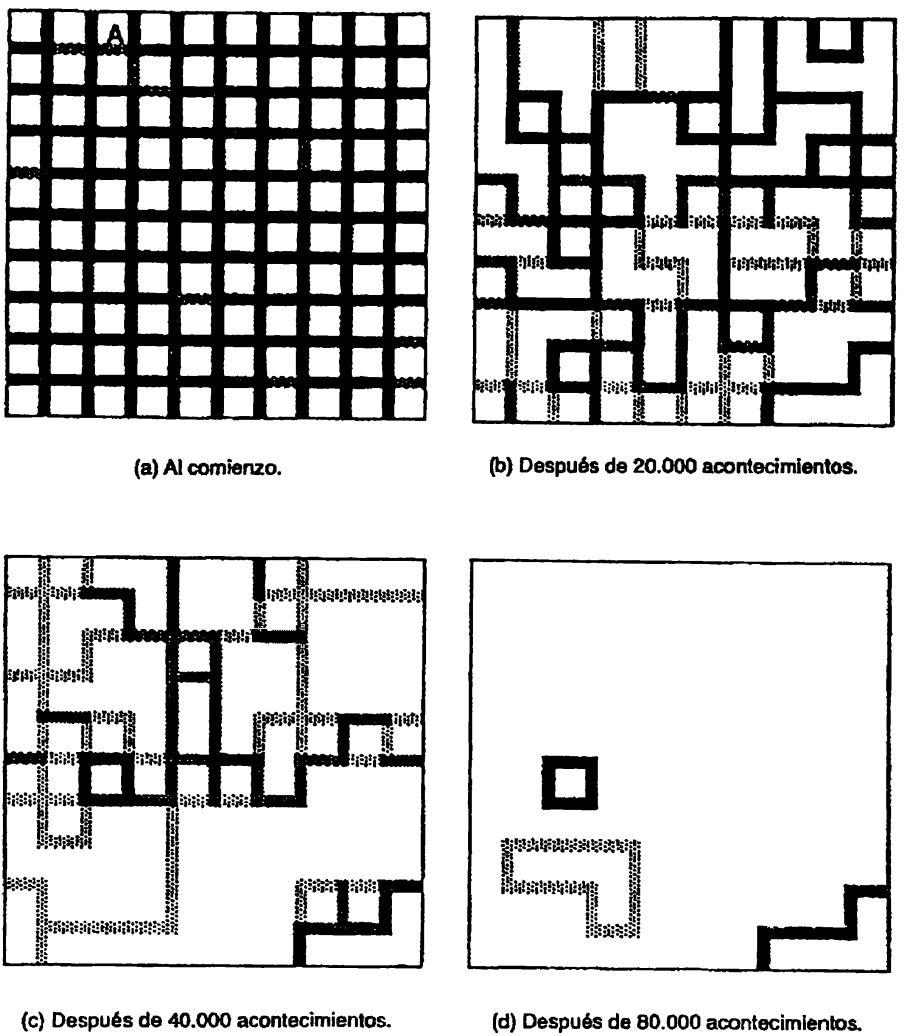

FIGURA 7.1. *Mapa de las similitudes culturales*

Nota: La similitud cultural entre sitios adyacentes está codificada del siguiente modo: Negro ≤ 20 %, Gris oscuro = 40 %; Gris claro = 80 %, Blanco = 100 %. Esta partida fue llevada a cabo utilizando cinco aspectos culturales y diez rasgos por aspecto, utilizando las condiciones iniciales mostradas en el cuadro 7.1. Cada sitio interior tiene cuatro vecinos.

Hacia los 40.000 acontecimientos, las regiones culturales han crecido. Además, incluso muchas de las fronteras entre regiones están ahora en gris claro, indicando que sólo hay un único aspecto en el que difieren. Hacia los 80.000 acontecimientos, ya sólo quedan cuatro regiones. De hecho, a los 81.000 acontecimientos, la región rodeada de gris claro queda completamente absorbida en la región más grande, dejando sólo tres regiones. No sólo eso, sino que las tres regiones que quedan son completamente estables porque los miembros de las regiones adyacentes no tienen absolutamente ningún aspecto en común y por lo tanto no pueden interactuar.

Ahora puede responderse a algunas de las preguntas sobre los efectos de la influencia social en el tiempo y en el espacio en este modelo.

1. Inicialmente, la mayoría de los sitios vecinos tienen poco en común unos con otros, y de allí que es improbable que interactúen. No obstante, cuando dos sitios *sí* interactúan se tornan más similares, y de allí que sea más probable que interactúen en el futuro.
2. En el tiempo, los aspectos culturales específicos tienden a ser compartidos en un área cada vez más amplia. De hecho, comienzan a formarse regiones en las que *todos* los aspectos son exactamente los mismos.
3. En algún momento, ya no es posible ningún cambio más. Esto pasa cuando cada par de sitios vecinos tiene culturas que son ya o bien idénticas o bien completamente diferentes. Si dos sitios son idénticos, pueden interactuar pero la interacción no causará que ninguno de ellos cambie. Si son completamente diferentes, ni siquiera interactuarán. En la partida de la muestra mostrada en la figura 7.1, el proceso se asentó exactamente con tres regiones culturales, dos de las cuales tenían unos pocos sitios.
4. Inicialmente, hay casi tantas regiones como sitios, pero eventualmente llegan a ser unas pocas regiones. Una indicación de la medida en que el proceso de influencia social se resiste a la homogeneización completa es el número de regiones que quedan cuando ya no es posible ningún cambio adicional. El número de *regiones estables* puede definirse como el número de regiones culturales que existe cuando cada región cultural no tiene nada en común con ninguna de las regiones que le son adyacentes. En la partida de la muestra, poco tiempo después del momento mostrado en la figura 7.1 (d), sobrevivían exactamente tres regiones estables, dos de las cuales tenían escasos sitios.
5. En retrospectiva, los orígenes de las regiones culturales estables pueden ser vistos muy atrás en la historia.[9] Por ejemplo, la región cultural de cuatro

[9] Éste es un ejemplo de lo que se llama dependencia de la trayectoria [*path dependence*] (por ejemplo, Arthur, 1988).

sitios en la esquina sudeste de la figura 7.1 (d) puede discernirse claramente ya en una época tan anterior como la de la figura 7.1 (b). Sin embargo, observar únicamente el mapa de las similitudes culturales en la primera época no le permitiría a uno saber cuál de las muchas regiones culturales que entonces existían iría a sobrevivir.

El número de regiones estables

Para la sociedad, una pregunta importante es cuántas regiones culturales sobrevivirán. Aunque todas las influencias sociales en el modelo involucran la convergencia entre vecinos, el proceso de convergencia puede detenerse con varias regiones culturales sobrevivientes, cada una de las cuales es completamente diferente de las regiones culturales adyacentes.

En la partida de la muestra, sobrevivieron tres regiones culturales. Esto es bastante típico de las partidas hechas bajo idénticas condiciones pero con diferentes opciones aleatorias. En un conjunto de 100 partidas de este tipo, el número promedio de regiones estables fue tres. Pero también hubo alguna escasa variación. En el 14% de las partidas hubo sólo una región estable, mientras que en el 10% hubo más de seis.

Alcance de las posibilidades culturales

El modelo puede ser usado para explorar cómo el número de regiones estables depende de diversos factores, tales como el alcance de las posibilidades culturales, el espectro de las interacciones, y la extensión del territorio geográfico. Primero considérese el alcance de las posibilidades culturales. En el modelo, la complejidad cultural depende de dos cosas: el número de aspectos culturales y el número de rasgos posibles que cada aspecto puede tener. Por ejemplo, en la partida de la muestra hubo cinco aspectos, cada uno con diez rasgos posibles. Una hipótesis plausible es que cuanta más variedad sea posible entre las culturas, mayor será el número de regiones estables que habrá. Esta hipótesis se basaría en la idea de que cuantos más aspectos y más rasgos por aspecto haya, más regiones culturales habrá al final.

El cuadro 7.2 muestra el número promedio de regiones que resultaron de todas las combinaciones de cinco, diez o quince aspectos así como cinco, diez o quince rasgos por aspecto. Para cada combinación de parámetros, se realizaron diez partidas. El cuadro 7.2 muestra que la cultura original de cinco aspectos de diez rasgos cada uno dio un promedio de 3,2 regiones estables.

CUADRO 7.2. *Número promedio de regiones estables*

Número de aspectos culturales	Rasgos por aspecto		
	5	10	15
5	1,0	3,2	20,0
10	1,0	1,0	1,4
15	1,0	1,0	1,2

Nota: Estas partidas se hicieron con un territorio de 10 x 10 sitios, y cada sitio interior tenía cuatro vecinos. Cada condición se corrió diez veces.

Cuando el número de rasgos por aspecto fue mantenido en diez, pero el número de aspectos fue aumentado de cinco a diez o quince aspectos culturales, el proceso convergió en una única región estable. Por lo tanto, a medida que el número de aspectos crece, otro tanto ocurre con la probabilidad de convergencia cultural completa. Al principio esto parece contradecir la intuición, porque uno podría suponer que más aspectos harían más difícil la convergencia. En realidad, lo cierto es exactamente lo contrario. La razón es que con más aspectos, hay una posibilidad mayor de que dos sitios tengan el mismo rasgo en al menos un aspecto, y por lo tanto estén capacitados para interactuar. Con la interacción viene el compartir el rasgo en un aspecto cultural adicional. Así que con más aspectos en la cultura hay una posibilidad mayor de que los vecinos tengan algo en común y, por lo tanto, tendrán una posibilidad mayor de alcanzar una convergencia cultural completa unos con otros.

El efecto de diferenciar el número de rasgos en cada aspecto se muestra también en el cuadro 7.2. Otra vez hay un resultado curioso: incrementar el número de rasgos por aspecto tiene el efecto opuesto al de incrementar el número de aspectos. Por ejemplo, pasar de diez a quince rasgos cuando hay cinco aspectos aumenta en realidad el número promedio de regiones estables de 3,2 a 20,0. Cuando hay unos pocos aspectos y muchos rasgos entonces hay una buena posibilidad de que dos vecinos no compartan ningún aspecto y, por lo tanto, no estén capacitados para interactuar. A su vez esto hace más fácil que se formen muchas regiones distintas, cada una de las cuales no tiene ningún aspecto en común con ninguna región adyacente.

En suma, la complejidad de la cultura necesita ser diferenciada para explicar el número de regiones estables. Tener más aspectos (esto es, dimensiones) en la cultura en realidad hace que haya menos regiones estables, pero tener más alternativas en cada aspecto hace que haya más regiones estables.

Espectro de interacción

La siguiente pregunta es cómo influye el número de vecinos con los cuales un sitio puede interactuar en el proceso de formación cultural. Hasta aquí, a cada sitio interior se le ha permitido interactuar con cuatro sitios adyacentes. Es plausible que si pudieran ocurrir interacciones a través de distancias algo mayores, el proceso de convergencia cultural se tornaría más fácil. El resultado esperado serían menos regiones culturales distintas cuando el proceso se asentara.

Para probar esta hipótesis, se realizaron partidas adicionales en las que cada sitio podía interactuar con otros sitios utilizando vecindades más amplias, que abarcaban ocho y doce vecinos para los sitios interiores. Las vecindades con ocho sitios consistían en los cuatro sitios adyacentes más los cuatro sitios diagonales, lo que hacían una vecindad cuadrada. Las vecindades de doce sitios consistían en esos ocho sitios más los cuatro sitios que estaban a dos unidades en las direcciones de cada uno de los puntos cardinales, lo que hacía una vecindad en forma de diamante. Para estudiar el efecto de la extensión del territorio, el conjunto completo de diez réplicas de cada una de las nueve clases de cultura se corrió para las vecindades con las extensiones de cuatro, ocho y doce.

Como se esperaba, las vecindades más amplias dieron por resultado menos regiones estables. Promediadas sobre los nueve tipos de cultura, las vecindades pequeñas tienen 3,4 regiones estables, las vecindades de extensión media dan 2,5 regiones, y las vecindades grandes sólo generan 1,5 regiones estables. Por lo tanto, cuando pueden ocurrir interacciones en distancias más grandes, la convergencia cultural es más fácil.

Extensión del territorio

La pregunta estadística final es cómo afecta al resultado del proceso de influencia social la extensión del territorio. En todas las partidas hasta este punto, la extensión del territorio era de 10 x 10 sitios. A lo largo de las nueve clases diferentes de cultura y las tres extensiones diferentes de vecindades, hubo un promedio de 2,5 regiones estables. Uno supondría que cuantos más sitios haya, más regiones culturales resultarán.

Para probar esta hipótesis, se examinaron territorios adicionales de 5 x 5 sitios y de 15 x 15. Se hizo un diseño factorial completo para cada una de las ochenta y una condiciones: tres extensiones de territorio, nueve tipos de cultura, y tres tipos de vecindad. Cada condición se replicó diez veces, lo que dio 810 partidas en total. Los resultados son muy sorprendentes. En estas partidas, la extensión del territorio no tuvo ningún efecto sustancial en el número de regiones culturales

formadas. Éstos son los promedios: con pequeños territorios (5 x 5) hubo 2,4 regiones estables, con territorios medianos (10 x 10) hubo 2,5 regiones estables, y con territorios más vastos (15 x 15) hubo 2,2 regiones estables.

Sin duda es necesario un análisis más detallado del efecto de la extensión. La mejor manera de hacerlo es mantener los otros parámetros constantes. Por conveniencia, los otros parámetros pueden fijarse en los niveles que dieron el número más amplio de regiones estables. Esto significa pocos aspectos culturales (cinco), muchos rasgos por aspecto (quince), y pequeñas vecindades (cuatro vecinos para los sitios interiores). Manteniendo constantes estos parámetros, puede determinarse el número de regiones estables en función de la extensión del territorio.

Los resultados se muestran en la figura 7.2, que resume cuarenta partidas para cada territorio desde los 2 x 2 sitios hasta los 35 x 35 sitios, y diez partidas para cada territorio de 50 x 50 sitios y 100 x 100 sitios. De manera consistente con las partidas anteriores mostradas en el cuadro 7.2 (con pocos aspectos y muchos rasgos por aspecto) hubo alrededor de veinte regiones estables en un territorio de 10 x 10 sitios. El resultado general exhibido en la figura 7.2 es que el número de regiones estables aumenta hasta que alcanza un máximo de alrededor de veintitrés cuando el territorio tiene 12 x 12 sitios. El número de regiones estables desciende luego hasta alrededor de seis para un territorio de 50 x 50 sitios y alrededor de dos para un territorio de 100 x 100 sitios.

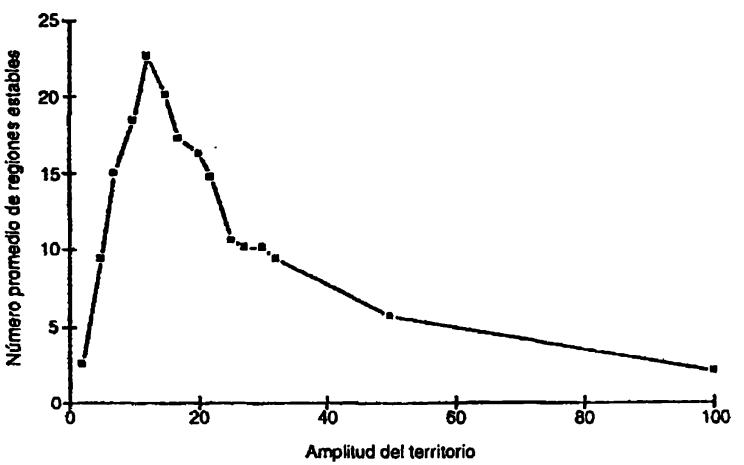

FIGURA 7.2. *Número promedio de regiones estables*

Nota: Los parámetros para estas partidas son cinco aspectos culturales, quince rasgos por aspecto, y cuatro vecinos para los sitios interiores. Cada extensión de territorio fue replicada cuarenta veces, excepto los territorios con 50 x 50 sitios y 100 x 100 sitios, que fueron replicados diez veces.

El resultado anterior, que sugería que la extensión territorial no tenía un efecto sustancial sobre el número de regiones estables, ahora puede verse como equivocado. El análisis anterior promediaba nueve clases de cultura y tres espectros de interacción, lo que llevaba más o menos al mismo número de regiones estables sin importar si el territorio era de 5 x 5, 10 x 10 ó 15 x 15 sitios. Los resultados que se muestran en la figura 7.2, no obstante, demuestran que cuando se mantienen constantes el tipo de cultura y el espectro de interacción, el número de regiones estables es muy sensible a la extensión del territorio: tanto los territorios pequeños como los grandes tienen pocas regiones estables, mientras que los territorios de extensión moderada tienen el mayor número de territorios estables.

¿Por qué los territorios de extensión moderada tienen el mayor número de regiones estables? No es una sorpresa que los territorios más pequeños tengan la menor cantidad de regiones estables. Después de todo, los territorios pequeños simplemente no tienen suficientes sitios para contener muchas culturas diferentes. Así que no es sorprendente que a medida que la extensión del territorio aumenta desde, digamos, 2 x 2 sitios hasta 12 x 12 sitios, el número de regiones estables aumente. Lo que realmente es sorprendente es que cuando la extensión del territorio aumenta aún más, el número de regiones estables en realidad disminuye. Así que la pregunta interesante es: ¿por qué los grandes territorios tienen menos regiones estables que los territorios de extensión moderada?

El resultado es tan sorprendente que uno podría preguntarse si se debe a un error de programación. Afortunadamente, esta explicación puede ser descartada. El presente modelo de simulación fue implementado independientemente por otro equipo en lo que es aparentemente el primer esfuerzo sistemático por alinear dos sistemas de simulación correlativos basados en los agentes (Axtell y otros, 1996). Los resultados clave del presente modelo fueron confirmados.

Uno podría preguntarse también si el fenómeno de los territorios amplios que tienen menos regiones estables tiene algo que ver con la existencia de fronteras en los territorios. Las fronteras pueden eliminarse arrollando los bordes norte y sur, y los bordes este y oeste. Las simulaciones con esta topología de vecindad muestran el mismo patrón que antes: el número de regiones estables aumenta a medida que aumenta la extensión del territorio, pero en determinado momento comienza a decaer. Aunque el pico ocurre antes (esto es, con territorios algo más pequeños) y no es tan alto (esto es, con algo menos de regiones estables), la forma de la curva es similar a la de la figura 7.2. Así que la existencia de fronteras territoriales no es la causa de que los grandes territorios tengan menos regiones estables que los territorios de extensión moderada.

Para ver por qué los grandes territorios tienen menos regiones estables, es útil examinar lo que ocurre a lo largo del tiempo en partidas de diversas extensiones.

Análisis de historias

Dialectos

Para comprender el desarrollo histórico de la influencia social en este modelo, vale la pena examinar una ilustración construida artificialmente en la que hay sólo dos regiones culturales, que difieren en un único aspecto. Utilizo el término "dialectos" para describir dos culturas tan similares. Para mantener las cosas realmente elementales, supóngase que hay sólo seis sitios en una línea de oeste a este, y los vecinos de cada sitio son los sitios adyacentes (véase cuadro 7.3). Supóngase, además, que los cuatro del oeste tienen la misma cultura, es decir 11111, mientras que los dos del este tienen la cultura 11112. Si el sitio activado y su vecino seleccionado están los dos dentro de la misma región, no ocurriría ningún cambio, porque no habría ninguna diferencia cultural para trasmitir. De manera que la única posibilidad de cambio sería si el sitio activo estuviera en una región y su vecino seleccionado estuviera en la otra. La consecuencia sería que la frontera entre las dos regiones se movería un sitio, ya sea al este o al oeste. Además, estas dos posibilidades son igualmente probables. La siguiente vez que una influencia social tenga lugar, la frontera regional se moverá otra vez, y una vez más hay igual posibilidad de que la frontera se mueva hacia el este como hacia el oeste. El movimiento de la frontera regional sigue un proceso conocido como una caminata aleatoria con barreras absorbentes (por ejemplo, Kemeny y otros, 1966: 283). En esta ilustración, se alcanzará la estabilidad cuando la frontera entre las regiones se mueva hasta el final de la línea hacia el este o el oeste, esto es, cuando un dialecto se haya "comido" completamente al otro dialecto.

Una cosa interesante de esta ilustración es que la región más amplia tiene más probabilidades de "comerse" a la región más pequeña que lo contrario. La razón es que la caminata aleatoria de la frontera tiene más probabilidades de alcanzar el borde más cercano del mapa antes de que alcance el borde más lejano. Por lo tanto, la cultura mayoritaria tiene más probabilidades de sobrevivir que la cultura minoritaria, incluso si no hay absolutamente ningún sesgo en el proceso de influencia social. Esto trae a la mente el esfuerzo en las universidades y otros lugares para proteger la diversidad de una sociedad multicultural.

Este resultado de que las regiones grandes tienden a "comerse" a las regiones pequeñas puede ayudar a explicar lo que ocurrió hacia el final de la partida que se exhibe en la figura 7.1. Recuérdese que después de los 80.000 acontecimientos había cuatro regiones, una de las cuales difería de la región más grande en un único aspecto cultural (véase figura 7.1 (d)). Una vez que la historia llegó a

esta etapa, el dialecto pequeño con sólo cuatro sitios tuvo muchas más probabilidades de extinguirse que el dialecto grande, que tiene noventa y un sitios. Nótese que los sitios en las otras dos regiones pequeñas, al no tener nada en común con ninguno de sus vecinos, no cambiaron. La posibilidad de influencia social terminó cuando el dialecto mayor "se comió" al dialecto más pequeño, lo que dio como resultado sólo tres regiones estables.

CUADRO 7.3. *Una ilustración de la influencia social entre dialectos*

a. Supóngase que hay dos regiones en un territorio de 6 x 1 sitios. Supóngase que las regiones son dialectos, que difieren en un único aspecto. Supóngase que una región tiene cuatro sitios mientras que la otra región tiene dos sitios:

11111 11111 11111 11111 11112 11112

b. Puesto que la mayoría de los sitios son idénticos a todos sus vecinos, hay sólo dos posibilidades de influencia social. Estas dos posibilidades son igualmente probables:
   I. El cuarto sitio es activado y toma del quinto sitio, moviendo la frontera regional hacia el oeste.

11111 11111 11111 11112 11112 11112

   II. El quinto sitio es activado y toma del cuarto sitio, moviendo la frontera regional hacia el este.

11111 11111 11111 11111 11111 11112

c. Eventualmente, el proceso se detendrá cuando un dialecto o el otro sea eliminado. Es más probable que el dialecto 11111 elimine al dialecto 11112 porque comenzó con más sitios.

La idea de los dialectos de culturas similares conduce a la idea de zonas culturales de regiones similares. Esto puede ayudar, a su vez, a desentrañar el enigma de por qué los territorios grandes tienen menos regiones estables.

Zonas culturales

Recuérdese que una región cultural es un conjunto de sitios contiguos con idéntica cultura. Una idea relacionada es una *zona cultural*: un conjunto de sitios contiguos cada uno de los cuales tiene un vecino con una cultura "compatible". Las culturas son compatibles si tienen al menos un aspecto en común.

Esto significa que los sitios vecinos con culturas compatibles pueden interactuar. Por lo tanto, aunque los sitios en una única zona cultural pueden incluir diferentes regiones, cada una de las regiones en una zona está capacitada para interactuar con regiones adyacentes en la misma zona.[10]

Para ver cómo se desarrollan en el tiempo las fronteras zonales y regionales en un territorio relativamente pequeño, regresemos a la partida ilustrada en la figura 7.1. En la figura 7.1 (d) hay cuatro regiones. No obstante, hay sólo tres zonas, como lo indican las fronteras negras entre los sitios adyacentes, que no tienen ningún aspecto en común. La partida termina cuando no es posible ningún cambio más, y esto sucede cuando cada zona tiene exactamente una región, puesto que eso implica que los sitios en diferentes regiones ya no pueden interactuar. En la partida que se muestra en la figura 7.1, la estabilidad se alcanzó cuando el dialecto pequeño fue "comido" por la región más grande. Las tres regiones resultantes corresponden exactamente a las tres zonas de la figura 7.1 (d). Si retrocedemos en la historia hasta la figura 7.1 (c), vemos que había docenas de regiones, pero exactamente las mismas tres zonas. De hecho, este es un patrón histórico común, con las zonas desarrollándose antes que las regiones. Por ende, el número de zonas proporciona una indicación temprana de cuántas regiones estables habrá.

La figura 7.3 muestra cómo se desarrolla en el tiempo el número de regiones y zonas en una única partida con un territorio muy vasto (100 x 100) con 10.000 sitios.[11] Inicialmente, el número de regiones es virtualmente el mismo que el número de sitios porque es muy improbable que dos sitios adyacentes tengan cada uno de sus cinco aspectos iguales cuando hay quince rasgos posibles para cada aspecto. No obstante, incluso al comienzo hay menos zonas que regiones porque muchos sitios tendrán al menos un aspecto en común con al menos un vecino. Como lo muestra la figura 7.3, el número de regiones decae gradualmente hasta que hay alrededor de mil regiones, y luego decae en etapas hasta que quedan sólo dos regiones. Por otra parte, el número de zonas decae rápidamente hasta quedar sólo dos. Como se menciona más arriba, cuando el

[10] Técnicamente, dos sitios están en la misma zona si hay una trayectoria de sitios adyacentes desde una hasta la otra tal que cada sitio tenga al menos un aspecto en común con el siguiente en la trayectoria.

[11] Nótese que para la figura 7.3, los parámetros se eligieron para generar números relativamente grandes de regiones estables. Con estos parámetros, el número promedio de regiones estables en territorios de 10 x 10 sitios fue de alrededor de 18,6, mientras que en territorios de 100 x 100 sitios, el promedio fue de sólo 2,1. (Véase la figura 7.2. La ligera discrepancia en el número de regiones estables en el territorio de 10 x 10 sitios en la figura 7.2 comparada con la celda correspondiente en el cuadro 7.1 se debe a que se promedia sobre partidas diferentes.)

número de regiones iguala al número de zonas, ya no es posible ningún cambio más. Es impactante que la determinación de las regiones estables lleve más de cuatro veces el tiempo que demanda la formación del número final de zonas. Así que la mayor parte de la historia de la partida se consumió con muchas culturas compatibles "luchando por sobrevivir" dentro de solamente dos zonas culturales, hasta que finalmente sólo una única cultura sobrevivió en cada zona. Dado que una de las dos zonas finales tiene un solo sitio, toda esta "lucha" tuvo lugar a través de los 9.999 sitios de la otra zona final.

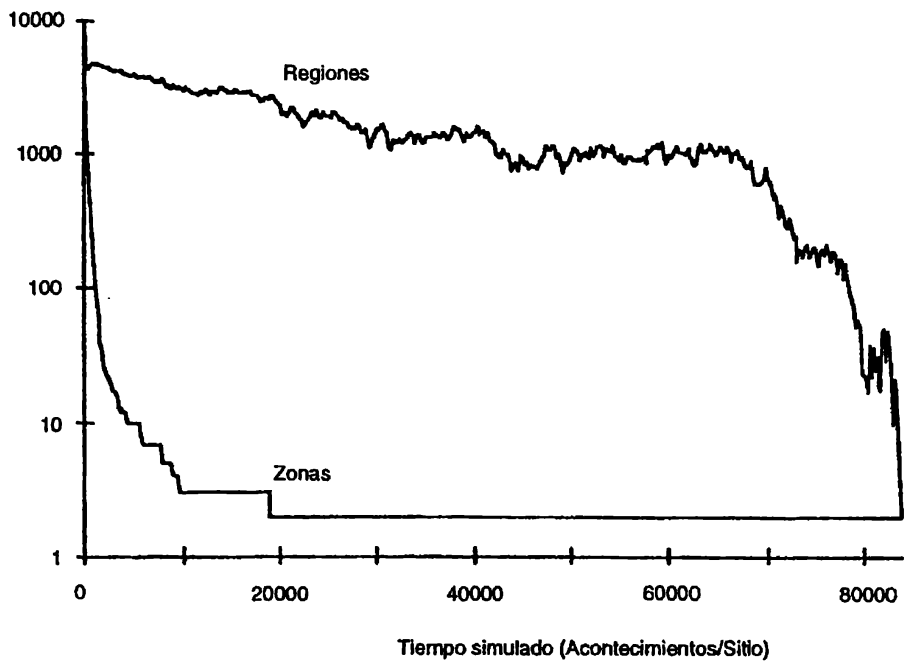

FIGURA 7.3. *Número de regiones culturales y de zonas culturales a través del tiempo en un territorio extendido*

Nota: El territorio es de 100 x 100 sitios. Los otros parámetros son como en la figura 7.2. Nótese la escala logarítmica.

Disolución de fronteras culturales

A través del tiempo, las fronteras entre regiones en la misma zona cultural tienden a disolverse. Por ejemplo, si dos sitios adyacentes comparten tres de sus cinco aspectos culturales, hay una buena posibilidad de que interactúen y luego compartan cuatro aspectos. Luego pueden interactuar otra vez y llegar a compartir sus cinco aspectos. Por supuesto, las cosas son más complejas que esto

porque uno u otro de los sitios podría interactuar también con otros, y esto en realidad podría disminuir la similitud cultural entre ambos. Pero en promedio, la similitud cultural entre sitios adyacentes en la misma zona cultural tiende a aumentar.

Por otra parte, los sitios adyacentes en zonas culturales diferentes no pueden interactuar porque no tienen ningún aspecto cultural en común. Ésta es la razón por la que las fronteras dentro de zonas culturales tienden a disolverse, pero las fronteras entre zonas culturales tienden a ser estables. Sin embargo, incluso estas fronteras pueden disolverse. Una frontera entre dos zonas culturales puede disolverse si un sitio sobre la frontera zonal adopta de otra región dentro de su zona un rasgo para un aspecto. Si este rasgo recién adoptado coincide con el aspecto correspondiente de un sitio vecino que pertenece a la otra zona, la frontera zonal comenzará a disolverse. Esto explica cómo disminuye el número de zonas culturales a través del tiempo, como se muestra en la figura 7.3.

Otra manera de observar el proceso dinámico es considerar el modo como los rasgos alternativos para un aspecto cultural se desplazan en una zona a medida que interactúan los sitios vecinos. En tanto que hay muchas regiones dentro de cada zona, hay rasgos culturales diferentes al menos para algunos de los aspectos en la zona. A medida que estos rasgos se desplazan en la zona a través de las interacciones, tienen una posibilidad de disolver fronteras, tanto regionales como zonales. El efecto neto es que cuanto más tiempo le tome a un territorio asentarse, más posibilidades hay de que tanto las fronteras zonales como las regionales se disuelvan.

A los territorios grandes les toma mucho más tiempo alcanzar la estabilidad que a los territorios pequeños, y esto le da a las fronteras regionales, e incluso a las zonales, en los territorios extendidos más oportunidades de disolverse. Esto es verdad aunque al comparar territorios de diferentes extensiones, el tiempo simulado debería medirse en acontecimientos por sitio en lugar de simplemente en acontecimientos. La razón por la cual se mide el tiempo en acontecimientos por sitio es que en realidad diversos sitios podrían estar activos virtualmente al mismo tiempo.

¿Cómo varía el tiempo de estabilización en función de la extensión territorial? A través de un gran espectro de territorios, desde cuatro a 10.000 sitios, el tiempo de estabilización es casi exactamente proporcional al número de sitios del territorio. Por ejemplo, con 1.024 sitios (en un territorio de 32 x 32), cada sitio necesita un promedio de 10.036 acontecimientos para alcanzar la estabilidad. Cuando hay alrededor de 2,5 veces esa cantidad de sitios (en un territorio de 50 x 50), se necesita alrededor de 2,5 veces esa cantidad de acontecimientos para alcanzar la estabilidad (ó 25.900 acontecimientos).

Cuando se duplica el número de sitios, cada sitio tiene dos veces esa cantidad de posibilidades de estar activo antes de la estabilidad. Por lo tanto, duplicar el número de sitios en un territorio permite cuatro veces esa cantidad de activaciones en total. Esto proporciona, a su vez, muchas más oportunidades de que las fronteras se disuelvan, reduciendo finalmente el número de regiones que aún existen cuando ya no es posible ningún cambio adicional. (A propósito, para hacer una partida de un territorio de 100 x 100, cada sitio necesita algo más de 100.000 acontecimientos antes de alcanzar la estabilidad. Dado que hay 10.000 sitios, una sola partida de esta extensión requiere simular mil millones de acontecimientos.)

En suma, combinar un análisis de los dialectos, las zonas culturales y la disolución de las fronteras culturales ayuda a explicar cómo la extensión territorial determina el número de regiones estables. En territorios pequeños no hay demasiado espacio para muchas regiones estables. En territorios de extensión moderada hay suficiente espacio. En territorios vastos, hay más espacio aún, pero el proceso de influencia social y el consecuente movimiento de alternativas culturales continúa por tanto tiempo que eventualmente se disuelven todas las fronteras culturales.

Discusión

Tal vez la lección más importante del modelo de influencia social es que la intuición no es una guía muy buena para predecir lo que incluso un modelo dinámico muy simple producirá. El modelo de influencia social es muy simple, de hecho. Su mecanismo puede exponerse en una sola frase: con una probabilidad igual a su similitud cultural, un sitio elegido al azar adoptará uno de los aspectos culturales de un vecino elegido al azar. Eso es todo. Y sin embargo, resulta muy difícil anticipar cómo varía el número de regiones culturales estables en función de los cuatro parámetros del modelo. Dos de los resultados fueron intuitivamente obvios, pero dos no lo fueron. Los dos resultados que eran intuitivos fueron que el número de regiones estables aumenta con el número de rasgos posibles que cada aspecto cultural podría tomar, y disminuye con el espectro de interacción. Los dos resultados contrarios a la intuición son que el número de regiones estables disminuye con más aspectos culturales, y con territorios vastos. Las partidas de computadora del modelo de influencia social demuestran que por sí misma, la intuición sobre la manera como se desarrollan los procesos dinámicos a través del tiempo no es necesariamente muy confiable.

El modelo de influencia social ilustra también cómo un modelo formal sugiere nuevas distinciones. El modelo demuestra que dos aspectos diferentes de la complejidad cultural operan en direcciones opuestas. Más aspectos culturales llevan a menos regiones estables, pero más rasgos en cada aspecto llevan a más regiones estables. Por lo tanto, al considerar la complejidad de un sistema cultural, uno debería distinguir entre el número de aspectos diferentes y el número de rasgos que cada aspecto puede tomar.

El modelo de influencia social sugiere también que las explicaciones funcionalistas para observaciones comunes no tienen por qué ser las únicas, ni siquiera las más simples. Por ejemplo, supóngase que hay dos variantes igualmente atractivas de una práctica cultural, y la menos común desaparece con el tiempo. Una explicación funcionalista sería que aquellos que practicaban la variante menos común cambiaron por la variante más común porque había cierta ventaja en hacer las cosas del modo como la mayoría de las otras personas las hacen. Esto tiene sentido para problemas de coordinación, tales como por qué lado de la calle conducir, o qué estándar técnico utilizar (Lewis, 1967; Saloner y Farrell, 1986; Axelrod, 1995). Pero, como hemos visto, el modelo de influencia social demuestra que incluso si no hay ninguna ventaja en adoptar la práctica mayoritaria, ésta puede llevar de todos modos a que la práctica minoritaria se extinga. La razón es que si es igualmente probable que los vecinos que siguen prácticas diferentes se cambien a la otra práctica, la que tenga menos seguidores probablemente sea la que se extinga primero. Por lo tanto, la mera observación de que una práctica seguida por pocas personas se ha perdido no significa necesariamente ni que la práctica tenía menos mérito intrínseco ni que había alguna ventaja en seguir una práctica más común. Como en el modelo de influencia social, podría ser que, incluso, los cambios no sesgados en la adhesión conduzcan a una práctica menos común a desaparecer simplemente porque es más vulnerable a las fluctuaciones aleatorias de las cantidades de adherentes.

Los resultados del modelo de influencia social sugieren otras dos advertencias acerca de conclusiones potencialmente falsas de las observaciones empíricas. La polarización tiene lugar en el modelo aún cuando el único mecanismo de cambio es uno de convergencia hacia un vecino. Por ende, cuando se observa polarización, no tiene por qué deberse a ningún proceso de divergencia. Del mismo modo, cuando los rasgos culturales tienen un fuerte correlato en las regiones geográficas, uno no debería suponer que hay cierta manera natural en la cual esos rasgos particulares van juntos. El modelo de influencia social muestra cómo pueden surgir regiones culturales homogéneas sin ninguna relación intrínseca entre las dimensiones separadas que devienen correlativas.

El modelo de influencia social sugiere nuevas preguntas e hipótesis empíricas. Por ejemplo, predice que los territorios vastos tendrán menos regiones estables, en realidad, que los territorios de extensión moderada. Sólo pude encontrar un estudio empírico pertinente. Era un estudio del número de lenguas en las diversas Islas Salomón (Terrell, 1977). Descubría que las islas que tenían menos de 100 millas cuadradas tenían una única lengua. Por encima de esa extensión, el número de lenguas aumenta a alrededor de una por cada incremento de 190 millas cuadradas en el área de la isla. Éste es un resultado claramente diferente al predicho por el modelo de influencia social. Dos razones para esta discrepancia son sugeridas por el estudio empírico mismo: las lenguas tienden a divergir en las islas grandes, y hay una mayor diversidad ecológica en las islas grandes. El modelo de influencia social ignora estos dos efectos. Por lo tanto, una pregunta aún sin respuesta es qué pasaría con el número de culturas distintas en función del territorio cuando no hay ninguna divergencia sistemática, y cuando el territorio es uniforme.

Extensiones del modelo

Una ventaja de un modelo muy simple es que se le pueden añadir cosas nuevas sin tornarlo demasiado confuso. Los siguientes son ejemplos de extensiones potencialmente interesantes del presente modelo de influencia social: corriente cultural (modelado como cambio espontáneo en un rasgo), efectos del terreno (algunos pares de sitios adyacentes con menos probabilidades de interactuar que otros), diferencias geográficas tempranas (rasgos iniciales no aleatorios), estatus (ciertos sitios con menos probabilidad de cambio que otros), atractivo cultural (algunos rasgos con menos probabilidad de cambio que otros), cambio tecnológico (introducción continua de rasgos nuevos y más atractivos), base material para la cultura (interacción entre el atractivo del rasgo y el terreno), educación pública y radiodifusión (algunas interacciones provienen de mensajes ampliamente diseminados), movilidad,[12] cultura de la organización (sustituyendo las vecindades geográficas por las jerárquicas), sociología de la ciencia (interacción entre disciplinas semiaisladas con corriente, cambio tecnológico y cultura de la organización), y divergencia cultural (interacción entre sitios disímiles que provoca una distancia cultural creciente).

[12] El hecho de que las vecindades más vastas den por resultado menos regiones estables sugiere que la movilidad también dará por resultado menos regiones estables. Esto se confirma en simulaciones que emplean el presente modelo reportadas por Axtell y otros (1996).

Tal vez la extensión más interesante y, al mismo tiempo, la más difícil de analizar, sea la corriente cultural. La corriente cultural está involucrada en fenómenos como los cambios lingüísticos y la fragmentación religiosa. También podría ser utilizada para dar cuenta del hecho de que siempre hay cierta posibilidad de que los vecinos se afecten unos a otros sin importar cuán diferentes sean sus culturas.

Aunque es fácil introducir corriente cultural, analizar todas sus implicancias es un desafío. En la versión original del modelo, las culturas en una partida determinada eventualmente dejan de cambiar. Esto ocurre cuando cada par de sitios vecinos tienen culturas que son o bien idénticas o bien completamente diferentes. Cuando esto ocurre, las regiones culturales resultantes son estables, y el número de regiones estables puede usarse como una medida de la heterogeneidad de la población.

Cuando se introduce corriente cultural, sin embargo, la influencia social continúa indefinidamente y, por lo tanto, cualquier región que se forme no es estable. Esto plantea dos preguntas acerca de cómo analizar los efectos de la corriente cultural. La primera pregunta es: ¿cuál es la medida de la heterogeneidad de la población cuando no puede utilizarse un simple conteo de regiones estables? La segunda pregunta es: ¿hasta dónde se debería dejar llegar una determinada partida antes de que se tomen las medidas?

En respuesta a la primera pregunta, hay por lo menos cuatro medidas plausibles de heterogeneidad de la población en un determinado momento. Tomando un punto de vista local, uno podría considerar las diferencias entre todos los pares de sitios vecinos. Entonces uno podría ya sea medir cuántos aspectos difieren entre vecinos o contar el número de pares vecinos que tengan alguna diferencia. Alternativamente, uno podría adoptar un punto de vista más global y contar el número de regiones o zonas culturales que existían en determinado momento, aun cuando no fueran estables.

En respuesta a la segunda pregunta, hay dos maneras plausibles de decidir cuándo deberían tomarse las medidas. Una manera es utilizar una cierta cantidad de tiempo "histórico", sin importar el número de sitios del territorio. Esto implicaría utilizar un número determinado de activaciones esperadas por sitio. El otro método sería correr el modelo hasta que una medida seleccionada de heterogeneidad ya no cambiara mucho a través del tiempo. Esto permitiría el tiempo necesario para que cada territorio alcance un equilibrio entre las fuerzas de la convergencia social y las fuerzas de la corriente cultural. Este método presumiblemente requeriría más "tiempo histórico" para territorios vastos que para territorios pequeños.

Después de que se ha seleccionado una medida de heterogeneidad y un método de duración, el modelo puede correrse con corriente cultural. En parti-

cular, los efectos de todos los parámetros pueden estudiarse y compararse con sus efectos en el modelo original. Estos parámetros incluyen el número de aspectos culturales, los rasgos por aspecto, el número de vecinos para cada sitio interior, y la extensión del territorio. El análisis preliminar sugiere que los efectos de los cambios en los parámetros son bastante complicados. Por ejemplo, en una determinada tasa de corriente cultural, los efectos de algunos de los parámetros parecen depender de qué medida de heterogeneidad se esté utilizando. Además, hay interacciones estadísticas entre los efectos de los diversos parámetros. Finalmente, un análisis completo requeriría también variar la tasa de corriente cultural así como los parámetros del modelo original. En suma, no es trivial determinar cómo afecta la introducción de corriente cultural al cambio cultural en el presente modelo de influencia social.[13]

Conclusión

El modelo propuesto muestra cómo pueden ser perdurables las diferencias individuales o de grupo a pesar de las tendencias hacia la convergencia. Considera la cultura como los atributos sobre los que la influencia social puede influir. A diferencia de modelos anteriores de cambio cultural o influencia social, éste está basado en el interjuego entre diferentes dimensiones o aspectos que caracterizan a las personas. El supuesto básico es que la oportunidad para la interacción y la convergencia es proporcional al número de aspectos que dos vecinos ya comparten. Las diferencias culturales estables emergen a medida que se desarrollan regiones en las que todos comparten la misma cultura, pero no tienen nada en común con la cultura de las regiones vecinas.

El grado de polarización se mide por el número de regiones culturales diferentes que existe cuando no es posible ningún cambio más. El análisis teórico y estadístico muestra que la polarización aumenta cuando hay pocas dimensiones para la cultura, cuando hay muchos rasgos alternativos en cada dimensión, y cuando las interacciones sólo ocurren con sitios adyacentes. Además, la polarización es más alta cuando la extensión del territorio es lo suficientemente grande como para admitir muchas culturas, pero lo suficientemente pequeña como para que el proceso de cambio se asiente antes de que todas las fronteras culturales se hayan disuelto por la propagación de rasgos culturales.

[13] Para aquéllos que quieran explorar esta y otras extensiones del modelo, el código fuente y la documentación están disponibles en Internet en http://pscs.physics.lsa.umich.edu/Software/ComplexCoop.html. En ese sitio, utilícese el enlace a "Disseminating Culture".

El modelo propuesto es único no sólo porque considera el interjuego entre diferentes aspectos de la cultura, sino también poque considera que cada aspecto tiene un conjunto completo de alternativas. Los modelos previos de influencia social tratan a la cultura o bien como una dimensión continua, o bien como un único par de alternativas. Si la cultura es vista como una dimensión continua, la convergencia tiende a llevar a la homogeneidad, a menos que se introduzca otro mecanismo para prevenirla. Si la cultura es vista como una variable con un único par de alternativas, sólo se abren dos posibilidades. Incluso si se admite un conjunto de alternativas binarias (por ejemplo, Epstein y Axtell, 1996), el presente modelo no arrojaría más que dos culturas diferentes entre sus regiones estables.[14] Por lo tanto, para sustentar la variedad cultural en el modelo propuesto, debe haber muchas dimensiones para la cultura, y cada dimensión debe tener más de dos rasgos alternativos.

El modelo de influencia social ilustra tres puntos fundamentales:

1. La convergencia local puede llevar a la polarización global.
2. El interjuego entre diferentes aspectos de la cultura puede conformar el proceso de influencia social.
3. Hasta los mecanismos simples de cambio pueden dar resultados contraintuitivos, como lo muestra el presente modelo, en el que los territorios vastos generan una polarización sorprendentemente escasa.

El modelo sugiere algunas interpretaciones interesantes para los cuatro tópicos mencionados al comienzo del trabajo. Desde luego, un modelo simple sólo puede ser sugerente y nunca ser definitivo.

1. *Formación de los Estados.* Dado que la formación de un Estado nacional es facilitada por la convergencia social a lo largo de un territorio (Deutsch, 1953 y 1969; Cederman, en prensa), los resultados del modelo demuestran cuán arbitrarias pueden ser las fronteras reales. Por ejemplo, si el proceso político tomara la era histórica representada por el tercer panel de la figura 7.1, sería más probable que un Estado se formara en la relativamente homogénea parte sur del mapa que en la parte relativamente heterogénea del norte, aún si al principio no hubiese nada que distinguiera el norte del sur. En

[14] Con dos rasgos por aspecto, el único resultado estable sería que todo sitio tenga o la misma cultura o la cultura complementaria de cada uno de sus vecinos. Dado que el complemento de un complemento es la cultura original, a lo sumo dos culturas diferentes serían posibles entre todas las regiones estables.

términos técnicos, el resultado es altamente dependiente de la trayectoria (por ejemplo, Arthur, 1988).

2. *Conflicto de sucesión.* La asimilación cultural de los Estados multinacionales ha resultado ser mucho más ardua de lo que la mayoría de los observadores habían predicho antes del colapso de la Unión Soviética y de Yugoslavia. El modelo de influencia social que se ofrece aquí sugiere el modo como la interacción local puede llevar a comunidades cohesivas sin llevar realmente a la homogeneización a lo largo de grandes distancias. El modelo ayuda a explicar cómo el terreno que desalienta la interacción de larga distancia (como en el territorio físicamente escarpado del Cáucaso o de la ex Yugoslavia) promueve la homogeneidad en pequeña escala junto con la diversidad en gran escala.
3. *Integración transnacional.*
   a. El modelo arroja una luz interesante sobre el efecto de siglos de expansión europea para dominar gran parte del globo. No es sorprendente que el aumento de un área cultural homogeneiza las anexiones más nuevas a las viejas. Es más sorprendente que las viejas regiones deban homogeneizarse internamente. En otras palabras, el modelo sugiere que la expansión de la influencia europea desde el siglo XV podría ayudar a homogeneizar a Europa misma.
   b. Con los recientes avances en el transporte, los medios masivos de comunicación y la tecnología de la información, muchas interacciones ahora son en gran medida independientes de la distancia geográfica. Con interacciones de larga distancia aleatorias, la heterogeneidad sustentada por la interacción local no puede sustentarse.[15] Un corolario interesante es que los líderes de los Estados pueden intentar moderar o eliminar la homogeneización interrumpiendo las interacciones de sus ciudadanos con los de afuera. Recientemente, no obstante, los regímenes tanto de Burma como de Corea del Norte han tenido que pensarlo dos veces, considerando el precio a pagar por semejante aislamiento.
   c. El modelo arroja luz también sobre la polémica tesis de Huntington (1993) de que el conflicto en el futuro será en general a lo largo de las fronteras de regiones culturales muy amplias en lugar de entre naciones dentro de la misma región cultural. Los resultados del presente modelo demuestran que a medida que el territorio político en cuestión se hace más amplio, puede esperarse que el número de regiones culturales distintas decline, incluso en ausencia de conquista.

[15] Este resultado fue confirmado con el presente modelo, al permitir que cada agente interactúe con todos los otros agentes.

4. *Escisiones sociales.*
   a. Los diferentes niveles de desempeño de gobierno en diferentes regiones de Italia han sido rastreados remontándose a diferencias en tradiciones cívicas que datan de 700 años atrás (Putnam, 1993: 121-162). El interesante agregado al modelo que estos resultados sugieren es que algunas culturas cívicas estables son más efectivas que otras para promover el buen gobierno. Esto sugiere, a su vez, que el papel de las organizaciones informales como la base del capital y la confianza social (Putnam, 1995; Fukuyama, 1995) puede analizarse en términos del modo como los procesos de influencia social puede llevar a la uniformidad a lo largo de áreas amplias sin llevar necesariamente a la completa homogeneización.
   b. El modelo da el número más amplio de regiones estables cuando hay pocos aspectos culturales y muchos rasgos por aspecto. Esto hace pensar que las diferencias más arduas de resolver a través de la influencia social son aquéllas con pocas cuestiones, pero con muchas posibilidades distintas para cada cuestión. La parte sorprendente de esta conclusión es que tener menos cuestiones provoca una convergencia local tan rápida que la convergencia a gran escala puede no ocurrir.
   c. En el futuro cercano, las comunicaciones electrónicas nos permitirán desarrollar patrones de interacción elegidos en lugar de impuestos por la geografía. Si los individuos están vinculados al azar, uno puede esperar una convergencia sustancial con el paso del tiempo. En el caso más probable de que las interacciones se basen en la autoselección, las personas tenderán a interactuar con otras que ya sean bastante similares a ellas en las dimensiones relevantes (Resnick y otros, 1994; Abramson y otros, 1988). Una implicancia del modelo es que esa autoselección podría dar por resultado una tendencia aún más fuerte tanto hacia la convergencia "local" como hacia la polarización global. Sólo que entonces la convergencia "local" estará basada no en la geografía, sino en patrones emergentes de comunicación de más o menos la misma mentalidad. Las implicancias para resolver tensiones inherentes a una sociedad multicultural son problemáticas.

Referencias

ADELSON, Robert y A. Bernstein (1963), "A Computer Simulation Model of Community Referendum Controversies", en *Public Opinion Quarterly*, 27, pp. 93-122.

ABRAMSON, Jeffrey, F. Christopher Arterton y Gary R. Orren (1988), *The Electronic Commonwealth*, Nueva York, Basic Books.

ANDERSON, Benedict (1991), *Imagined Communities: Reflections on the Origin and Spread of Nationalism*, 2ª ed., Londres, Verso. [Trad. esp.: *Comunidades imaginadas: reflexiones sobre el origen y la difusión del nacionalismo*, México, FCE, 1998.]

ARTHUR, W. Brian (1988), "Urban Systems and Historical Path Dependence", en J. Ausubel y R. Herman (comps.), *Cities and Their Vital Systems*, Washington, National Academy Press, pp. 85-97.

AXELROD, Robert (1986), "An Evolutionary Approach to Norms", en *American Political Science Review*, 80, pp. 1095-1111. Incluido como cap. 3 en este volumen.

—— (1995), "A Model of the Emergence of New Political Actors", en N. Gilbert y R. Conte (comps.), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, Londres, University College Press, pp. 19-39. Incluido como cap. 6 en este volumen.

AXELROD, Robert, Will Mitchell, Robert E. Thomas, D. Scott Bennett, y Erhard Bruderer (1995), "Coalition Formation in Standard-Setting Alliances", en *Management Science* 41, pp. 1493-1508. Incluido como cap. 5 en este volumen.

AXTELL, Robert, Robert Axelrod, Joshua Epstein y Michael D. Cohen (1996), "Aligning Simulation Models: A Case Study and Results", en *Computational and Mathematical Organization Theory*, 1, 123-141. Incluido como apéndice A en este volumen.

BARTH, Fredrik (1969), *Ethnic Groups and Boundaries*, Boston, Little, Brown.

BOYD, Robert, y Peter J. Richerson (1985), *Culture and the Evolutionary Process*, Chicago, University of Chicago Press.

BREMER, Stuart A. y Michael Mihalka (1977), "Machiavelli in Machina: Or Politics Among Hexagons", en Karl Deutsch y otros (eds.), *Problems of World Modeling*, Cambridge, Ballinger, pp. 303-337.

BROWN, Thad A. y Michael McBurnett (1993), "Emergence of Political Elites", trabajo presentado en la Conferencia Europea sobre Vida Artificial, Bruselas, 19 al 21 de mayo.

CAMPBELL, Angus, Philip E. Converse, Warren E. Miller, y Donald E. Stokes (1960), *The American Voter*, Nueva York, Wiley.

CARLEY, Kathleen (1991), "A Theory of Group Stability", en *American Sociological Review*, 56, pp. 331-354.

CAVALLI-SFORZA, L. L. y M.W. Feldman (1981), *Cultural Transmission and Evolution: A Quantitative Approach*, Princeton, Princeton University Press.

CEDERMAN, Lars-Erik. (en prensa), *Emergent Actors in World Politics: How States and Nations Develop and Dissolve*, Princeton, Princeton University Press.

COLEMAN, James S. (1957), *Community Conflict*, Nueva York, Free Press.

—— (1965), "The Use of Electronic Computers in the Study of Social Organization", en *European Journal of Sociology*, 6, pp. 89-107.

CUSACK, Thomas R. y Richard Stoll (1990), *Exploring Realpolitik: Probing International Relations Theory with Computer Simulation*, Boulder, Lynne Rienner.

DEUTSCH, Karl W. (1953), *Nationalism and Social Communication: An Inquiry in the Foundations of Nationality*, Cambridge (EE.UU.), Technology Press; Nueva York, Wiley.

—— (1969), *Nationalism and Its Alternatives*, Nueva York, Knopf.

DURHAM, William H. (1991), *Coevolution: Genes, Culture, and Human Diversity*, Stanford, Stanford University Press.

EPSTEIN, Joshua M. y Robert Axtell (1996), *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom-Up*, Washington, Brookings Institution Press; Cambridge (EE.UU.), MIT Press.

FRIEDKIN, Noah E. y Eugene C. Johnsen (1990), "Social Influence and Opinions", *Journal of Mathematical Sociology*, 15, pp. 193-205.

FUKUYAMA, Francis (1995), *Trust*, Nueva York, Free Press. [Trad. esp.: *Trust: la confianza*, Barcelona, Ediciones B, 1998.]

GEERTZ, Clifford (1973), *The Interpretation of Cultures*, Nueva York, Basic Books. [Trad. esp.: *La interpretación de las culturas*, Barcelona, Gedisa, 1988.]

GIDDENS, Anthony (1979) *The Constitution of Society*, Berkeley, University of California Press. [Trad. esp.: *La constitución de la sociedad. Bases para la teoría de la estructuración*, Buenos Aires, Amorrortu, 1998.]

HANNAN, Michael T. (1979), "The Dynamics of Ethnic Boundaries in Modern States", en J. Meyer y M. Hannan (comps.), *National Development and the World System*, Chicago, University of Chicago Press, pp. 253-327.

HARRISON, J. Richard y Glenn R. Carroll (1991), "Keeping the Faith: A Nodel of Cultural Transmission in Formal Organizations", en *Administrative Science Quarterly*, 36, pp. 552-582.

HOMANS, George C. (1950), *The Human Group*, Nueva York, Harcourt, Brace.

HUBERMAN, Bernardo A. y Natalie S. Glance (1993), "Evolutionary Games and Computer Simulations", en *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 90, pp. 7716-7718.

HUCKFELDT, Robert y John Sprague (1991), "Discussant Effects on Vote Choice: Intimacy, Structure, and Interdependence", en *Journal of Politics*, 53, pp. 122-158.

HUNTINGTON, Samuel P. (1993), "The Clash of Civilizations?", *Foreign Affairs*, 72, pp. 22-49.

KEMENY, John G., J. Laurie Snell y Gerald L. Thompson (1966), *Introduction to Finite Mathematics*, 2ª ed., Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

KEY, V. O. (1961), *Public Opinion and American Democracy*, Nueva York, Knopf.

KROEBER, Alfred L. y Clyde Kluckhorn (1952), "Culture: A Critical Review of Concepts and Definitions", en *Papers of the Peabody Museum*, 47, pp. 643-644, 656.

LATANE, Bibb, Andrzej Nowak y James H. Liu (1994), "Measuring Emergent Social Phenomena: Dinamism, Polarization and Clustering as Order Parameters of Social Systems", en *Behavioral Science*, 39, pp. 1-24.

LEWIS, David K. (1967), *Convention: A Philosophical Study*, Cambridge (EE.UU.), Harvard University Press.

LIPSET, Seymour Martin, Martin A. Trow, y James S. Coleman (1956), *Union Democracy*, Glencoe, Free Press.

LUMSDEN, Charles J. y Edward O. Wilson (1981), *Genes, Mond, and Culture: The Coevolutionary Process*, Cambridge (EE.UU.), Harvard University Press.

MARCH, James G. (1991), "Exploration and Explotation in Organizational Learning", *Organization Science*, 2, pp. 71-87.

MARSDEN, Peter V. y Noah E. Friedkin (1993), "Network Studies of Social Influence", en *Sociological Methods and Research*, 22, pp. 127-151.

NELSON, Richard R. y Sidney G. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.

NOWAK, Andrzej, Jacek Szamrej y Bibb Latane (1990), "From Private Attitude to Public Opinion: A Dynamic Theory of Social Impact", en *Psychological Review*, 97, pp. 362-376.

PUTNAM, Robert D. (1966), "Political Attitudes and the Local Community", en *American Political Science Review*, 60, pp. 640-654.

—— (1993), *Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy*, Princeton, Princeton University Press.

—— (1995), "Bowling Alone", en *Democracy*, 6, pp. 66-78.

RENFREW, Colin (1973), *The Explanation of Social Influence: Models in Prehistory*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.

RENFREW, Colin y Kenneth L. Cooke (1979), *Transformations: Mathematical Approaches to Social Influence*, Nueva York, Academic Press.

RESNICK, Paul, Neophytos Iacovou, Mitesh Suchak, Peter Bergstrom y John Riedl (1994), "GroupLens: An Open Architecture for Collaborative Filtering of Netnews", en *Proceedings of the AMC 1994 Conference on Computer-Supported Cooperative Work: Chapel Hill, N.C.*, Nueva York, Association for Computing Machinery, pp. 175-186, .

ROGERS, Everett M. (1983), *Diffusion of Innovations*, 3ª ed., Nueva York, Free Press.

SABLOFF, Jeremy A. (1981), *Simulations in Archeology*, Albuquerque, University of New Mexico Press.

SALONER, G. y J. Farrell (1986), "Installed Base and Compatibility: Innovation, Product Preannouncements, and Predation", en *American Economic Review*, 76, pp. 940-955.

SCHELLING, Thomas (1978), *Micromotives and Macrobehavior*, Nueva York, Norton.

SCHRODT, Philip A. (1981), "Conflict as a Determinant of Territory", *Behavioral Science*, 26, pp. 37-50.

SIMMEL, Georg [1908] (1955), *Conflict and the Web of Group-Affiliations*, Nueva York, Free Press.

TERRELL, John (1977), "Human Biogeography in the Solomon Islands", en *Fieldiana: Anthropology*, 68, pp. 1-47.

ULLMANN-MARGALIT, Edna (1977), *The Emergence of Norms*, Oxford, Clarendon Press.

VOGET, Fed W. (1975), *A History of Ethnology*, Nueva York, Holt, Reinhart and Winston.

Apéndice A
Réplica de modelos basados en los agentes

Este apéndice se originó en una observación y sugerencia de Michael Cohen. La observación fue que a fin de que el modelado basado en los agentes se convirtiera en una herramienta ampliamente utilizada en la investigación en ciencias sociales, sería necesario desarrollar las herramientas para una estrecha comparación de los modelos comparables. Este proceso de estrecha comparación o "alineamiento" es necesario para determinar si dos sistemas de modelado pueden producir el mismo resultado, lo cual es la base, a su vez, para los experimentos críticos y para las pruebas de si un modelo puede incluir a otro. La sugerencia fue que mi modelo de la influencia social (véase el capítulo 7) era lo suficientemente simple como para servir como un buen blanco para un ejercicio de alineamiento, y que el entorno de modelado *Sugarscape* de Joshua Epstein y Robert Axtell sería un buen entorno en el cual probar un experimento de "acoplamiento" sobre el alineamiento. Pensé que la de Mike era una buena idea, así que invitamos a Josh y Rob a unírsenos en la realización de este estudio réplica.

El proyecto pareció muy encaminado cuando los cuatro comenzamos, pero encontramos dos cosas sorprendentes sobre la marcha. La primera fue que comparar dos versiones del mismo modelo nos exigía desarrollar un nuevo conjunto de conceptos. La segunda sorpresa fue que incluso las diferencias aparentemente triviales en el modo como se maneja el tiempo en el modelo pueden llevar a diferencias notables en los resultados, lo que sugiere que debe tenerse gran cuidado al hacer e informar estas elecciones.

Este estudio réplica no tuvo inconvenientes para ser publicado. De hecho, suscitó un interés sustancial entre personas que hacían modelos basados en los agentes en las ciencias sociales debido a una necesidad muy patente de desarrollar estándares más claros para el campo emergente.

La publicación del trabajo fue especialmente útil para mí. Cuando mi modelo de influencia social fue propuesto por primera vez para su publicación, un crítico dijo que uno de los resultados reportados era tan antiintuitivo que se necesitaría un esfuerzo adicional para verificar que el resultado se debía al mo-

delo y no a un error de programación. Yo estaba dichoso de poder informar que el modelo se había convertido en el objeto del primer esfuerzo por reimplementar un modelo basado en los agentes en un entorno de modelado diferente. Además, podría informar que el resultado sospechoso había sido confirmado y la réplica había sido aceptada para su edición en otra publicación. Este trabajo metodológico fue muy efectivo para despejar una de las objeciones al reporte sustancial del modelo.

El ejercicio de "acoplamiento" se ofrece como un apoyo para quienes quieren ayudar a que el modelado basado en los agentes se convierta en parte de una empresa científica acumulativa. (Quienes deseen algunas pistas sobre cómo emprender el modelado basado en los agentes pueden consultar también el apéndice B.)

RÉPLICA DE MODELOS BASADOS EN LOS AGENTES

Alinear modelos de simulación: estudio y resultados de un caso*

Robert Axtell, Robert Axelrod, Joshua M. Epstein y Michael Cohen[1]

Resumen: *Este ensayo desarrolla los conceptos y métodos de un proceso que llamaremos "alineamiento en modelos por computadora" o, para decirlo brevemente, "acoplamiento". El alineamiento es necesario para determinar si dos modelos pueden producir los mismos resultados, lo cual es a su vez la base para experimentos críticos y pruebas de si un modelo puede incluir a otro. Ilustramos nuestros conceptos y métodos utilizando como blanco un modelo de transmisión cultural construido por Axelrod. Para la comparación utilizamos el modelo* Sugarscape *desarrollado por Epstein y Axtell.*

Los dos modelos difieren de varias maneras y, hasta la fecha, se los ha empleado con propósitos bastante diferentes. El modelo, Axelrod se ha utilizado principalmente para la experimentación intensiva con variación de parámetros, e incluye sólo un mecanismo. En contraste, el modelo Sugarscape *se ha utilizado primordialmente para generar "historias artificiales" ricas, escenarios que exhiben datos de interés estilizados, como la diferenciación cultural impulsada por muchos mecanismos diferentes, incluyendo la disponibilidad de recursos, la migración, el comercio y el combate.*

El modelo Sugarscape *fue modificado a fin de reproducir los resultados del modelo cultural de Axelrod. Entre las preguntas que planteamos se cuentan: ¿qué significa que dos modelos son equivalentes?; ¿cómo pueden diferentes estándares de equivalen-*

* Adaptado de Robert Axtell, Robert Axelrod, Joshua Epsrein y Michael D. Cohen (1996), "Aligning Simulation Models: A Case Study and Results", en *Computational and Mathematical Organization Theory*, 1, pp. 123-141. Reimpreso con autorización de CMOT.

[1] Los autores agradecen la asistencia financiera de la Brookings Institution, el World Resources Institute, la John D. and Catherine T. MacArthur Foundation, el Santa Fe Institute, el Programa para el Estudio de Sistemas Complejos, la LS&A Enrichment Found de la Universidad de Michigan, y la U.S. Advanced Research Projects Agency.

cia ser evaluados estadísticamente?; ¿cómo afectan a los resultados las diferencias sutiles en el diseño de los modelos? Después de alcanzar un "amarre" de los dos modelos, el conjunto más rico de mecanismos del modelo Sugarscape *se utiliza para ofrecer dos experimentos en análisis de sensibilidad para la regla cultural del modelo de Axelrod.*

Nuestra experiencia generalmente positiva en esta empresa ha sugerido que podría ser beneficioso si el alineamiento y la prueba de equivalencia fueran más ampliamente practicadas entre los modeladores por computadora.

Introducción

Motivación

Si el modelado por computadora ha de tornarse una herramienta ampliamente utilizada en la investigación en ciencias sociales, creemos que un proceso al que llamamos "alineamiento de modelos por computadora" será una actividad esencial. Sin ese proceso de comparación estrecha, el modelado por computadora no ofrecerá nunca el claro sentido del "dominio de validez" que típicamente puede obtenerse para las teorías matemáticas. Nos parece fundamental ser capaces de determinar si dos modelos que proclaman tratar con los mismos fenómenos pueden o no producir los mismos resultados.

El alineamiento es esencial para sustentar dos sellos de calidad de la investigación disciplinaria acumulativa: experimento crítico e inclusión. Si no podemos determinar si dos modelos producen resultados equivalentes en condiciones equivalentes, no podemos rechazar un modelo en favor de otro que se ajusta mejor a los datos, ni podemos decir que un modelo es un caso especial de otro más general, como lo hacemos cuando decimos que el tratamiento dado por Einstein a la gravedad incluye el de Newton.

Aunque parece claro que debería haber esfuerzos frecuentes para demostrar que pares de modelos por computadora son equivalentes, sólo estamos enterados de un único caso (Anderson y Fischer, 1986), y no sabemos de ningún análisis sistemático de las cuestiones planteadas al tratar de establecer la equivalencia.

Hemos identificado unos pocos casos en los cuales un viejo modelo ha sido reprogramado en un nuevo lenguaje, a veces con extensiones, por un autor posterior. Por ejemplo, Michael Prietula ha reportado[2] la reinterpretación de un modelo de Cyert y March (1963), y Ray Levitt ha reportado una reimplementación de Cohen y otros (1972).[3] Sin embargo, estos procedimien-

[2] Comunicación personal a Michael Cohen.

[3] Comunicación personal a Michael Cohen.

tos no son comparaciones de diferentes modelos que se apoyan en los mismos fenómenos. Son más bien "reimplementaciones", en las que un modelo posterior es programado desde el principio para reproducir de la manera más cercana posible el comportamiento de un modelo anterior. Nuestro interés está puesto en el caso más general y problemático en que dos modelos que incorporan distintos mecanismos se apoyan en la misma clase de fenómenos sociales, ya sea el comportamiento de los votantes, la formación de actitud o la centralización de organizaciones.

Este ensayo apunta, por lo tanto, a alcanzar dos metas: (1) reportar un conjunto novedoso de resultados a partir de alinear dos modelos por computadora diferentes de transmisión cultural; y (2) reportar un caso informativo del proceso utilizado para obtener estos resultados novedosos.

Descripción general

Este ensayo está organizado en seis secciones. Después de esta breve sección introductoria, la Segunda sección proporciona un contexto más detallado de los dos modelos, necesario para comprender los resultados. La tercera sección reporta nuestros procedimientos para alinear los dos modelos y para recolectar información para este informe del caso. La cuarta contiene resultados de dos experimentos de comparación. La quinta reporta nuestras observaciones sobre el proceso de alineamiento de modelos. La conclusión es la sexta sección.

Contexto de los dos modelos

Nuestro objetivo ha sido determinar si un conjunto de resultados obtenido en un modelo de transmisión cultural construido por Robert Axelrod (1997) también podría obtenerse en la configuración diferente del modelo *Sugarscape* de Joshua M. Epstein y Robert Axtell (1993).[4] El *Sugarscape* difiere del modelo de Axelrod de muchas maneras. La más notable es que la cultura es uno de los muchos

[4] El código fuente de Axelrod es de aproximadamente 1500 líneas de Pascal para Macintosh (Synamtec THINK Pascal versión 4.0.1) y está disponible a través del autor. El código fuente de *Sugarscape* es de aproximadamente 20.000 líneas de Object Pascal y C para la Macintosh 68K (Synamtec THINK Pascal versión 4.0.2 y compiladores THINK C versión 7.0.6). Los objetos agentes están escritos en Pascal, mientras que las rutinas gráficas y de bajo nivel están principalmente escritas en C. Este código está disponible a través de Robert Axtell. También a través de Axtell están disponibles versiones ejecutables del código, configuradas con la regla de cultura de Axelrod y capaces de generar los datos contenidos en este trabajo.

procesos que pueden ser operados en el sistema más general *Sugarscape*, que tiene agentes modelo que, entre otras cosas, se mueven, comen, se reproducen, pelean, comercian y sufren enfermedades. El modelo Axelrod tiene agentes mucho más simples que no hacen ninguna de estas cosas, sino que más bien ocupan posiciones fijas en una cuadrícula, y que sólo interactúan con sus vecinos inmediatos del norte, sur, este y oeste.[5]

A este respecto, los dos modelos son claros ejemplos de aproximaciones diferentes al modelado por computadora: el *Sugarscape* está diseñado para estudiar la interacción de muchos mecanismos sociales plausibles diferentes. Es una especie de "mundo artificial" (Lane, 1993). En contraste, el Axelrod Culture Model (ACM) fue construido para implementar un único mecanismo para un único proceso, con el objetivo de llevar a cabo experimentos intensivos variando los parámetros de ese mecanismo. Recuerda mucho más al espíritu de la teorización matemática tradicional en su compromiso con la simplicidad extrema y el análisis completo de cada parámetro del modelo.

Comenzamos por describir brevemente cómo funciona el modelo de Axelrod.[6] El modelo estudia una cuadrícula de agentes que siguen todos una única regla. Los agentes son entidades culturales que pueden pensarse como "aldeas". Cada agente interactúa con un conjunto fijo de vecinos, cuatro a menos que el agente esté situado en un borde o esquina de la cuadrícula. Cada agente tiene diversos atributos y cada uno de esos atributos puede tomar alguno entre diversos valores de una escala nominal. Para el trabajo reportado aquí hemos usado cinco atributos, cada uno de los cuales toma uno entre quince valores. El estado inicial de cada agente es determinado estableciendo al azar el valor de cada atributo. Los atributos podrían interpretarse como formas de vestir, patrones lingüísticos, prácticas religiosas u otros aspectos culturalmente determinados.

El objetivo central de ACM es estudiar los efectos de un simple mecanismo de transmisión cultural que opera de la siguiente manera. Se selecciona un agente al azar para que sea el próximo en estar activo. Uno de los cuatro vecinos es seleccionado para ser el próximo contacto de ese agente. Se selecciona un atributo entre los cinco. Si los dos agentes tienen el mismo valor para ese atributo, otro atributo, si lo hay, en el que difieran, es seleccionado al azar, y el agente activo asume para ese atributo el valor sostenido por el vecino contactado. Se permite que la activi-

[5] Entre otros modelos de transmisión cultural e influencia social se cuentan los de Renfrew (1973), Sabloff (1981), Nowak y otros (1990), Friedkin y Johnsen (1990), Putnam (1966), March (1991), Harrison y Carroll (1991), Carley (1991), y Cavalli-Sforza y Feldman (1981). Véase también Axelrod (1997).

[6] Una descripción completa de la estructura del modelo y de los resultados obtenidos de los experimentos puede hallarse en Axelrod (1997).

dad continúe o bien hasta que cada agente difiera de cada uno de sus vecinos en todos los atributos o bien hasta que no difiera en ninguno. En este punto ya no es posible ningún cambio más y el modelo se deja de correr.

Un aspecto clave de este mecanismo de cambio cultural es que el cambio cultural se torna más probable cuando más semejantes sean dos vecinos, y menos probable cuanto más difieran. Una cuestión central de interés en el trabajo con el modelo es si esta variabilidad de tasa de interacción es suficiente en sí para crear una diversidad estable en lugar de una eventual homogeneidad; como uno esperaría con un modelo que permitiera a vecinos disímiles continuar interactuando sin importar cuán diferentes fueran.

Mientras que ACM puede expresarse en unos pocos parágrafos, y sus resultados pueden describirse completamente en un artículo breve, *Sugarscape* es un sistema mucho más complejo del que sólo se puede dar cuenta totalmente en la extensión de un libro (Epstein y Axtell, 1996). Esto no se debe a que los mecanismos individuales de *Sugarscape* sean complejos. Por el contrario, cada uno de sus mecanismos es aproximadamente de la misma complejidad que los del modelo de Axelrod. No obstante, el propósito de *Sugarscape* es investigar el interjuego de muchos mecanismos mientras operan simultáneamente, como ocurre en la vida social real. En particular, *Sugarscape* se propone como una herramienta para la prueba de suficiencia de las teorías sociales, que permite a los teóricos averiguar si un conjunto estipulado de mecanismos y condiciones (digamos, para que un mercado se "despeje") producirá realmente el fenómeno predicho.

Por lo tanto *Sugarscape* tiene procesos que permiten a sus agentes buscar, adoptar y comer un recurso ("azucar") que crece en su orden toroidal de celdas. Por ende, mientras que las celdas de alimento creciente son inmóviles, los agentes activos son expresamente móviles, y ésta es una de las muchas diferencias fundamentales con el modelo Axelrod.

Los agentes de *Sugarscape* también tienen atributos culturales. En los estudios típicos con el modelo hay once atributos culturales, cada uno de los cuales adopta uno entre dos valores. Los atributos culturales cambian en *Sugarscape* como parte de un ciclo más amplio de actividad del agente.

En este modelo, los agentes también se tornan activos en un orden aleatorio.[7] Cada agente, cuando está activo, se involucra en una cantidad de procesos. Para la presente exposición, el más importante de éstos es desplazarse a una celda dentro de su campo de visión que sea la más rica en azúcar. En esa posición un agente interactúa culturalmente con todos sus vecinos. (Los agentes del *Sugarscape* por lo general no pueblan todas las celdas del paisaje, de manera que

[7] El método es similar, pero no idéntico, al del ACM, tal como se lo discute más abajo.

el agente activo puede tener menos de cuatro agentes en su vecindad.) En una interacción cultural, se selecciona un atributo al azar, y si el vecino difiere del agente, el valor se cambia por el del agente.

En *Sugarscape,* los atributos se agregan (normalmente por una simple regla de mayoría) y esto determina el tipo cultural de un agente, que por lo común se clasifica como "Rojo" o "Azul". El tipo cultural entra a continuación en muchos otros procesos en los que los agentes de *Sugarscape* pueden involucrarse, como el comercio, el combate y la reproducción sexual.

Mientras que el modelo Axelrod fue diseñado principalmente para la experimentación intensiva con variación de parámetros, el uso para el que está pensado el modelo *Sugarscape* es bastante diferente en su diseño. En él, los agentes tienen muchas reglas de comportamiento además de las culturales, y aunque el modelo puede usarse para la exploración de espacios de parámetros, hasta el presente se lo ha utilizado primordialmente para generar "historias artificiales", escenarios que exhiben hechos estilizados de interés, como la diferenciación cultural impulsada por la disponibilidad de recursos, o los patrones reconocibles de migración, comercio y combate. El principal uso de los escenarios generados es para las pruebas de suficiencia, que muestran que los mecanismos implementados a nivel individual son capaces de producir fenómenos de interés a nivel colectivo.

Debería ser evidente que los dos modelos son ampliamente diferentes en muchas materias importantes. Sin embargo, tienen en común dos aspectos centrales que sugieren que se los podría comparar significativamente. El primero es que ambos son modelos "basados en los agentes": trabajan mediante la especificación de propiedades de actores individuales en el sistema y luego por el estudio de los fenómenos colectivos que resultan al interactuar esos individuos; en este caso, en vecindarios locales de un espacio bidimensional. El segundo aspecto compartido es que ambos representan los atributos culturales de agentes individuales como series de símbolos y modelan la difusión cultural como un proceso de convergencia entre vecinos.

Procedimientos de nuestra comparación

Al leer un borrador del proyecto *Sugarscape,* estas dos fuertes similitudes les sugirieron a Axelrod y a Cohen que podría ser posible "acoplar" los dos modelos, en analogía con el acoplamiento orbital de vehículos espaciales disímiles. *

* Los términos ingleses utilizados por los autores son *to dock* y *docking,* "amarrar", "amarre", provenientes de la tradición náutica, y que aluden justamente a amarrar o atracar una embarca-

De manera que podría determinarse si *Sugarscape,* bajo las condiciones adecuadas, produciría resultados equivalentes a los ya obtenidos con el ACM. Se contactó a Epstein y a Axtell. Estuvieron de acuerdo en que una prueba como ésa sería instructiva. Los cuatro investigadores creen que, si el modelado por computadora ha de convertirse en un medio de expresión teórica significativo, el alineamiento de modelos será necesario. La prueba de equivalencia podría hacer una importante contribución a las ciencias sociales, aunque no reemplazaría a la fijación de validez externa.[8] Ninguno de los cuatro puede recordar un caso en que se haya reportado una prueba de equivalencia como ésa, o donde se haya analizado en detalle el problema de la prueba de equivalencia.[9]

Haciendo la comparación y preparando el reporte del caso

Los cuatro investigadores estuvieron de acuerdo en los procedimientos para llevar a cabo la prueba, y para conservar registros del trabajo realizado y de los problemas encontrados en el curso de la prueba. Los objetivos eran: (1) determinar si se producían resultados equivalentes en condiciones equivalentes; (2) demostrar los efectos de relajar algunas de las condiciones equivalentes; y (3) estar capacitados para reportar los problemas que se presentaran y sus soluciones, dando, por ende, los primeros pasos en el establecimiento de la práctica de la prueba de equivalencia de manera más general en el modelado por computadora aplicado a las ciencias sociales.

Los procedimientos seguidos fueron aproximadamente análogos a los utilizados cuando un segundo investigador en una ciencia de laboratorio intenta reproducir los resultados obtenidos en el laboratorio de un primer investigador (Latour y Woolgar, 1979).

Epstein y Axtell trabajaron con un borrador de prepublicación del ACM para hacer su trabajo preliminar. Ellos consideraron los pasos que tendrían que dar a fin de reproducir los resultados clave identificados por Axelrod. Estos resultados muestran de qué manera el número de regiones culturalmente idénticas que existen cuando se alcanza la estabilidad varía en función de tres parámetros:

---

ción en la proximidad de una dársena, *dock* o cualquier clase de desembarcadero. En la era espacial, esa significación se extendió a la maniobra astronáutica arriba descrita. Hemos preferido traducir dichos términos por sus equivalentes usuales "acoplar" y "acoplamiento", a pesar de que así se pierden ciertas connotaciones. [N. de T.].

[8] Sobre la validación externa véase Dutton y Starbuck (1971), Knepell y Arangno (1993), y Burton y Obel (1995).

[9] La investigación subsecuente sacó a luz un reporte de esa especie: Anderson y Fischer (1986). Hasta ahora no se ha encontrado ningún tratamiento sistemático de las cuestiones conceptuales.

el número de atributos, el número de valores por atributo, y la extensión de la grilla cuadriculada. Estos resultados incluían el aspecto más sorprendente del desempeño del ACM: que el número de equilibrio de "regiones" culturales producido por el modelo aumenta al principio y luego disminuye como función del número de agentes.[10]

Axtell y Epstein visitaron entonces a Axelrod y a Cohen en la Universidad de Michigan, donde una consulta clarificó las ambigüedades. Se hicieron cambios adicionales en *Sugarscape,* y luego se corrió la primera prueba de equivalencia. Cuando Epstein y Axtell regresaron a su sitio de trabajo en la Brookings Institution se corrió y analizó un conjunto de pruebas más completo. Luego Epstein y Axtell continuaron relajando algunos de los factores que se habían hecho equivaler a los del ACM a fin de ver qué diferencias producirían esos cambios.

Probando la equivalencia de modelos

Una cuestión central fue la determinación de cómo fijar la "equivalencia" de los dos modelos. El plan requirió un esfuerzo por mostrar que el modelo *Sugarscape* podría comportarse de una manera comparable a la del ACM, y esto implica un estándar por el cual fijar la "equivalencia" de medidas tomadas en los dos modelos. Esto se discutió por teléfono y correo electrónico en una etapa temprana. La conclusión fue que para este caso bastaría si pudiera mostrarse que el *Sugarscape*—usando un mecanismo básico de transmisión cultural similar al del ACM— produciría varias distribuciones de mediciones que fueran estadísticamente indistinguibles de las distribuciones producidas por el ACM.

Los cuatro investigadores estuvieron de acuerdo en que éste es un estándar más bien estrecho, puesto que uno podría sostener que *Sugarscape* sería equivalente si produjera un conjunto de resultados con los mismos patrones ordinales que los del ACM. Pero se tenía la sensación de que una prueba exigente sería lo apropiado porque éste era el primer ejercicio de su clase, y porque la programación de cambios en *Sugarscape* podría hacer que su mecanismo básico de transmisión cultural fuese algorítmicamente equivalente al de ACM. Todos los autores estuvieron de acuerdo en que la "equivalencia" de modelos con elementos estocásticos debe definirse en su contexto, y en la sección final se ofrecen observaciones adicionales sobre esta central y ardua cuestión. En particular, allí nos extendemos sobre el difícil problema de dar un contenido estadístico preciso al concepto de "distribuciones estadísticamente indistinguibles".

[10] Axelrod definió una región cultural como un conjunto de sitios contiguos con idéntica cultura.

Resultados de los dos experimentos

Pasamos ahora a reportar nuestras observaciones sobre el comportamiento de *Sugarscape* en comparación con el del ACM. Describimos los cambios efectuados a *Sugarscape* a fin de alinearlo con los que se juzgaron los aspectos principales que determinaran los resultados del ACM.

Cambios efectuados para acoplar Sugarscape con el ACM

El espectro de visión fue reducido a los cuatro vecinos inmediatos. El espectro de movimiento fue reducido a cero. La inicialización usual de *Sugarscape* para una población escasamente distribuida por su dotación de celdas fue alterada para obtener una distribución que colocaba un agente en cada celda. La topografía toroidal de *Sugarscape* fue modificada a una cuadrícula limitada. En realidad hubo una discrepancia que presentó al hacer esto, que comentamos más abajo. Los números constantes de atributos y valores por atributo de *Sugarscape* se transformaron en variables que podían ser fijadas en los tres niveles diferentes utilizados en las partidas del ACM mostradas en el cuadro A.1.

CUADRO A.1. *Número promedio de regiones estables*

a. Modelo cultural de Axelrod

	Valores/aspectos		
Aspectos	5	10	15
5	1,0	3,2 ± 1,8	20,0 ± 10,1
10	1,0	1,0	1,4 ± 0,5
15	1,0	1,0	1,2 ± 0,4

b. Implementación en *Sugarscape*

	Valores/aspectos		
Aspectos	5	10	15
5	1,0	5,3 ± 3,9	21,3 ± 12,6
10	1,0	1,0	1,5 ± 0,7
15	1,0	1,0	1,0

Nota: Cada celda está basada en diez replicaciones. Las desviaciones estándar se muestran cuando no son iguales a cero. Todos los datos son para territorios de 10 x 10 sitios.

Cierta diferencia se juzgó pequeña y no se eliminó. *Sugarscape* activa un agente por vez a partir de una permutación aleatoria de la lista de agentes. Cuando la lista está completa, se la vuelve a permutar y la activación comienza otra vez. Axelrod, como se lo ha mencionado, activa cada vez un nuevo agente elegido al azar. Los

métodos corresponden aproximadamente a un muestreo de agentes para la activación sin y con reemplazo. Por lo tanto, para un determinado conjunto de *n* agentes, en *Sugarscape* un bloque de *n* activaciones activará a cada agente exactamente una vez, mientras que en el modelo de Axelrod la mayoría estarán activos una vez, pero unos pocos podrían estar activos cero vez o dos o más veces. Nuestra decisión de no eliminar esta diferencia, por lo pequeña que parecía, tuvo en realidad interesantes consecuencias que describimos más abajo.

Habíamos decidido que para reproducir los resultados de Axelrod, Epstein y Axtell primero deberían tratar de usar exactamente las mismas reglas para determinar el cambio cultural. Por lo tanto, programaron un substituto para su propia regla de cambio cultural, que no tomaba en cuenta la similitud entre los agentes en la difusión de atributos de cultura entre los vecinos interactuantes, y que provocó que cada agente interactuara culturalmente con todos sus vecinos.

Sugarscape reproduce los resultados centrales del modelo cultural de Axelrod

El cuadro A.1a, con datos propósito tomados de Axelrod (1997), da el número de regiones culturales estables para una grilla de 10 x 10 sitios, promediada sobre diez partidas, como una función del número de atributos culturales y los valores por atributo. Nótese que, manteniendo otras cosas iguales, el número de regiones culturales presente en el equilibrio aumenta con el número de rasgos por aspecto y disminuye con el número de aspectos culturales. De los nueve valores tabulados, sólo cuatro no son iguales a 1,0.

Con la implementación de la regla cultural de Axelrod en *Sugarscape,* se generó una muestra, representada en el cuadro A.1b, directamente análoga. La dependencia cualitativa del número de regiones culturales estables respecto del número de aspectos y de rasgos por aspecto es la misma que en el cuadro de Axelrod. Adviértase que en el nuevo cuadro sólo tres entradas no son iguales a 1,0.

El acuerdo cuantitativo entre los dos conjuntos de datos es claro para las cinco entradas de 1,0 que los cuadros tienen en común. Para comprobar cuán de acuerdo se hallan cuantitativamente las entradas restantes en los dos cuadros, se emprendieron comparaciones estadísticas no paramétricas. El valor crítico de la U estadística de dos vías de Mann-Whitney en el nivel 0,05 de significación para muestras de la medida diez es 23 (Siegel, 1956). Esto es, uno descarta la hipótesis nula de un valor de U de o por debajo de 23. Para todas las comparaciones entre los dos cuadros, las U estadísticas son mayores que el valor crítico y, por lo tanto, uno no puede descartar la hipótesis nula sobre bases no

paramétricas. En general, parece muy probable que los datos correspondientes en los dos cuadros hayan sido tomados de la misma distribución.

La figura A.1 brinda los datos propósito de Axelrod (1997) sobre el número de regiones culturales estables como una función de la extensión de la grilla para cinco aspectos culturales con quince rasgos por aspecto. Esta figura tiene una interesante forma no monótona, un resultado que el autor expone con cierto detenimiento. Los datos para las grillas de 5 x 5, 10 x 10, y 20 x 20 se generaron utilizando la implementación de la regla cultural de Axelrod en *Sugarscape*. En cada caso, la extensión de la muestra fue de cuarenta, la misma extensión de muestra utilizada por Axelrod para estos tres casos. Los promedios del modelo *Sugarscape* modificado y las columnas de error correspondientes se exhiben también en la figura A.1. Para determinar hasta qué grado están de acuerdo estos datos con los datos originales de Axelrod, utilizamos la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) de excelencia de ajuste de funciones empíricas de distribución acumulativa (cfr. Hoel, 1962), una prueba no paramétrica.[11]

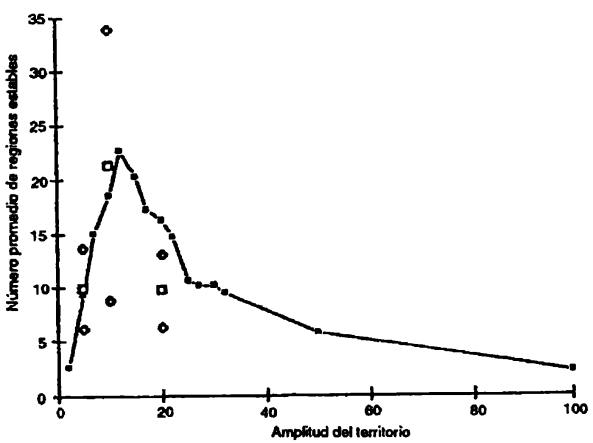

FIGURA A.1. *Número promedio de regiones estables en el modelo cultural de Axelrod y la implementación en Sugarscape*

Los cuadrados cerrados representan los datos propósito de ACM para cinco aspectos culturales y quince rasgos por aspecto. Cada extensión territorial se replicó cuarenta veces, excepto los territorios con 50 x 50 sitios y 100 x 100 sitios, que se replicaron diez veces.

Los cuadrados abiertos representan los datos de *Sugarscape* para el mismo número de aspectos y rasgos por aspecto. Cada extensión territorial (5 x 5, 10 x 10, y 20 x 20) se replicó diez veces.

Los rombos representan los promedios de *Sugarscape* más y menos una desviación del estándar.

[11] La prueba de Kolmogorov-Smirnov no se utilizó para las comparaciones del cuadro A.1 porque tiene escaso poder para pequeñas extensiones de muestra.

La hipótesis nula es que los puntos de los datos correspondientes están tomados de la misma distribución. En el nivel de significancia del 5%, el valor crítico a dos puntas de la estadística K-S con cuarenta observaciones es de 0,304. Esto es, si el valor K-S real excede el valor crítico, entonces se descarta la hipótesis nula.

Para los dos conjuntos de datos que corresponden a la grilla 5 x 5, la estadística K-S es de 0,225. Por lo tanto, la hipótesis nula no puede ser descartada. En el caso de 10 x 10, la estadística K-S es de 0,175, de manera que una vez más la hipótesis nula no puede ser descartada. Finalmente, la grilla de extensión 20 x 20 revela que la estadística K-S es de 0,5 > 0,304 y por lo tanto se descarta la hipótesis nula; parece probable que los datos para este valor de parámetro hayan sido tomados de distribuciones diferentes. El promedio del ACM en este caso fue de 16,25. El promedio de *Sugarscape* modificado es de 9,23.

1. ¿En qué sentido todavía pueden llamarse "equivalentes" a los modelos computacionales? El modelo *Sugarscape* modificado produce resultados que son numéricamente idénticos a los del ACM en algunos casos. Produce distribuciones de resultados que no pueden distinguirse estadísticamente de las distribuciones del ACM en once de las veinte comparaciones. En un caso produce una distribución que puede distinguirse, aunque la media es la relación deseada con las otras medias. Esto es, la grilla de 20 x 20 tiene un número promedio de regiones menor que el caso de 10 x 10. Esta no monotonía fue el carácter importante del resultado, según la perspectiva de Axelrod sobre sus propios resultados. En nuestra conclusión sostenemos que éstas son tres categorías naturales de equivalencia de modelos, que llamamos "identidad numérica", "equivalencia distributiva", y "equivalencia relacional". Discutimos las implicancias de estas distinciones en la sección "Observaciones sobre el valor y las dificultades del alineamiento".
2. ¿Cuál es la causa probable de la diferencia observada? Dado que habíamos llevado a una coincidencia algorítmica tantas particularidades de los dos modelos, nos sorprendimos cuando se produjo esta discrepancia. Pero no todas las particularidades de los dos modelos coincidían, y la diferencia estadísticamente significativa indica que esto incidía en el caso de la grilla de 20 x 20 sitios. Creemos que la diferencia surge de nuestra decisión de no convertir el método de activación de *Sugarscape* al método ACM. El método *Sugarscape* no permite que ocasionalmente el mismo agente sea activado varias veces antes de que otros agentes hayan tenido su cuota "justa" de influencia. Esta uniformidad adicional de la influencia parece ser suficiente para inducir una mayor convergencia última en las culturas.[12] Cuando convertimos el código de activación de

[12] Un resultado posiblemente relacionado se obtiene más abajo en la siguiente subsección,

Sugarscape al método de "muestreo con reemplazo" del ACM, el caso de la grilla de 20 x 20 sitios ya no causa un problema. Y cuando se vuelven a correr todos los casos en *Sugarscape* con activación aleatoria, cada uno de ellos ofrece datos que son indistinguibles del ACM.[13]

3. ¿Cuál es la hipótesis nula correcta para la comprobación estadística de la equivalencia? En nuestra comprobación estadística nos hemos atenido a la lógica usual que formula el problema como el rechazo de una hipótesis nula de identidad distributiva. Pero el lector alerta puede haber advertido que esto no es completamente satisfactorio en las circunstancias especiales de probar la equivalencia de modelos. Con una excepción discutida anteriormente, hemos concluido que no podemos descartar, con probabilidades convencionales de confiabilidad, la hipótesis nula de que las distribuciones son las mismas.

La particularidad insatisfactoria de esta aproximación es que crea un incentivo para que los investigadores prueben la equivalencia con medidas de muestra pequeñas. Cuando más pequeña es la muestra, más alto es el umbral para descartar la hipótesis nula y, por lo tanto, es mayor la posibilidad de establecer la equivalencia. Nos hemos resistido a esta tentación y hemos utilizado medidas de muestra típicas de los estudios de simulación. Nos sentimos satisfechos en este caso de que, con la única excepción señalada, los modelos se comporten de manera equivalente. A largo plazo, no obstante, vemos una necesidad de formular una lógica estadística más apropiada.[14]

"Análisis de sensibilidad de modelos basados en los agentes", donde se muestra que permitir que los agentes se mezclen con no vecinos también reduce el eventual número de equilibrio de las culturas.

[13] *Sugarscape* con activación aleatoria da medias y desviaciones estándar distintas de cero de la siguiente manera. Para el cuadro A.1, leyendo de izquieda a derecha y de arriba abajo, 1,2 ± 0,4; 4,10 ± 1,3; 18,8 ± 9,7; 1,0; 1,0; 1,9 ± 1,0; 1,0; 1,0; 1,0. La U estadística de Mann-Whitney para estos nueve conjuntos de datos de diez puntos de datos cada uno no descarta la hipótesis nula de que estos datos están tomados de las mismas distribuciones subyacentes que en el cuadro A.1, al nivel 0,05 de significación. Para la figura A.1, los datos son 9,8 ± 2,8 (para el caso 5 x 5), 20,4 ± 7,9 (para el caso 10 x 10), y 14,8 ± 7,0 (para el caso 20 x 20). Las estadísticas Kolmogorov-Smirnov para estos tres conjuntos de datos de cuarenta puntos cada uno no descartan la hipótesis de que estos datos tienen las mismas distribuciones que las distribuciones correspondientes del ACM mostrado en la figura A.1.

[14] Nuestro punto de vista actual de la dirección más promisoria es revertir la formulación usual de la hipótesis nula y preguntar si podemos descartar confiadamente la petición de que las distribuciones son diferentes. No obstante, hay dos complicaciones en esta aproximación. Primero, con modelos estocásticos será extremadamente difícil concluir que toda la diferencia observada en las medias de la muestra se debe a la fluctuación del muestreo. Esto sugiere que será necesario utilizar una hipótesis nula como la de que "las dos distribuciones difieren en no más de un

Análisis de sensibilidad de modelos basados en los agentes

La literatura sobre análisis de sensibilidad en modelos basados en los agentes es, hasta ahora, bastante pequeña.[15] ¿Cómo afectan las alteraciones en las reglas locales a estructuras macroscópicas emergentes, tales como los patrones culturales? Acoplamientos de la especie que hemos reportado facilitan esta nueva clase de análisis de sensibilidad. Aquí llevamos a cabo dos experimentos que involucran reglas de movimiento de agentes.

Un experimento de movilidad

Como se señaló antes, en el ACM, los "agentes" ocupan posiciones fijas en una grilla cuadriculada, mientras que en *Sugarscape* los agentes son móviles. Una pregunta natural, por lo tanto, es: ¿qué pasa con el número de equilibrio de las culturas en el ACM si a los agentes se les permite moverse por el *Sugarscape* interactuando con los vecinos, con la interacción gobernada por la regla de transmisión cultural del ACM? ¿Veremos mayor diversidad cultural de equilibrio o menos? En el ACM, hay cero posibilidad de que agentes no vecinos interactúen, mientras que en *Sugarscape,* dependiendo de la topografía del paisaje, eventualmente cualquier par de agentes puede interactuar de manera directa. Dado que el efecto del movimiento es por ende "mezclar" la población, esperaríamos que eventualmente habría menos diversidad que sin movimiento. Esto es lo que encontramos.

A fin de llevar a cabo el experimento, el *Sugarscape* fue configurado como una retícula de 50 x 50 que tiene una única "montaña de azúcar" (gaussiana) en el centro. Se dio una posición inicial aleatoria en este paisaje a cien agentes móviles. Cada agente se abocó de la siguiente manera a un comportamiento con un propósito: (1) busca localmente la posición en la grilla que tiene más azúcar, (2) se mueve al mejor sitio más cercano, y (3) reúne (come) el azúcar en ese sitio. La población de agentes es heterogénea con respecto a su visión, esto es, cuán lejos puede "ver" localmente cada agente en las direcciones principales de la grilla (norte, sur, este y oeste). En estas partidas, la visión fue

---

porcentaje X", con X escogido por convención o por ser apropiado en el contexto de referencia. Segundo, con esas hipótesis nula revertida y compleja, y sin razones sólidas para suponer una forma conveniente (por ejemplo, gaussiana) de las distribuciones subyacentes, es improbable que vaya a haber un método analítico manejable para obtener niveles confiables para las estadísticas. Esto hace pensar que el problema tendrá que ser atacado con herramientas estadísticas computacionales, como el abordaje "lazo de bota" [*bootstrap*] de Efron y Tibshirani (1993).

[15] Para un ejemplo basado en autómatas véase Wuensche y Lesser (1992).

distribuida de manera uniforme entre 5 y 10 en la población de agentes. Después de mover, los agentes se abocan al intercambio cultural –aquí de acuerdo con la regla de intercambio cultural de Axelrod– con uno de sus vecinos. Una diferencia importante entre el *Sugarscape* y el ACM es que los agentes pueden tener cualquier número entre cero y cuatro vecinos en el *Sugarscape,* mientras que los agentes (no fronterizos) siempre tienen exactamente cuatro vecinos en el ACM. Una vez que el azúcar es "cosechado" por los agentes, vuelve a crecer a tasa unitaria. El "criterio de terminación" empleado debió ser algo modificado para esta partida. En el caso de los agentes fijos, la transmisión cultural termina cuando todos los agentes vecinos son o bien completamente idénticos o bien completamente diferentes. Con agentes móviles, es necesario chequear si todos los agentes son o bien los mismos o bien diferentes por completo, independientemente de si son vecinos o no. Este criterio de cesación "global" es computacionalmente más caro que el "local", apropiado para agentes fijos.

Dado que esperábamos que el movimiento redujera el número de culturas presentes, pareció natural probar la proposición utilizando los parámetros que produjeron la mayoría de culturas en el ACM. En el caso de 100 agentes (retícula de 10 x 10) que tenían cinco aspectos culturales y quince rasgos por aspecto, el ACM produjo un promedio de 20,0 (visiblemente ± 10,1) culturas distintas, mientras que la versión *Sugarscape* del ACM (agentes fijos) produjo 21,3 (± 12,5). La introducción del movimiento reduce dramáticamente el número de culturas. Sobre una muestra de diez partidas en *Sugarscape,* el promedio fue 1,1 (± 0,3). Cuando el experimento se repitió para el caso de cinco aspectos y treinta rasgos por aspecto, bajo la expectativa de que este "espacio cultural" más amplio arrojaría más culturas distintas en equilibrio, el número promedio de culturas presentes en *Sugarscape* aumentó un tanto hasta situarse en 2,2 (± 1,2).

Un experimento "sopa"

El movimiento mezcla la población. La forma extrema de esto es la así llamada "sopa", en la que los agentes son pareados al azar sin importar la localización, y luego interactúan bajo la regla ACM. Dado que esto da por resultado mezclas más completas que el movimiento, podíamos esperar que el efecto "culturalmente homogeneizador" fuera aun más fuerte. Y lo fue.

Para 100 agentes que tenían cinco aspectos culturales y quince rasgos por aspecto, en diez partidas no hubo jamás un caso en el que quedara más de una cultura. Cuando el número de rasgos por aspecto se incrementó a treinta, una

secuencia de diez partidas arrojó siete partidas que terminaron con una única cultura, dos instancias de dos culturas distintas, y un único caso de tres culturas en equilibrio; un promedio general de 1,4. Esencialmente, la mayor parte de la diversidad cultural del ACM desaparece en la sopa. En resumen, cuanto más mezclada está la sociedad, menor es el número culturas distintas en equilibrio. De manera correlativa, los equilibrios multiculturales en el ACM requieren que la probabilidad de interacción entre agentes completamente diferentes sea literalmente cero. Si hay alguna probabilidad de interacción (o si hay una tasa de mutación de cualquier punto) lo que atrae a largo plazo es una sola cultura. Los puntos arriba mencionados conciernen al número de equilibrios únicamente; ¿podemos decir algo sobre las tasas sobre las que se establecen éstos?

Recuérdese la dinámica básica del ACM: cuanto más grande es la similitud entre agentes vecinos, más rápidamente crece su similitud. Una vez que la similitud alcanza un cierto estado, la convergencia es rápida, casi como si ocurriese una transición de fase. Ahora bien, el resultado antiintuitivo es que cuanto más mezclada esté la sociedad, más tarde llega esta "transición de fase". En el modelo ACM, los núcleos locales de agentes vecinos desarrollan similitudes. Su alta correlación espacial permite a estos agentes arribar muy rápidamente a un "acuerdo", mientras que en el caso de la movilidad de *Sugarscape,* los agentes "se alejan de un salto" ["*hop away*"] antes de que sea posible un acuerdo; y en la sopa extrema, donde la correlación espacial es cero, el "cambio de fase" llega aun más tarde. En resumen, cuanto más baja es la correlación espacial, más tarde es la acometida de la rápida convergencia al equilibrio, y menor es el número de culturas en equilibrio.

Resultados del proceso de acoplamiento en sí

El proceso de acoplamiento

Cuando Epstein y Axtell visitaron la Universidad de Michigan, llevaron su modelo en una computadora portátil. Una porción del trabajo necesario para la prueba de equivalencia se hizo previamente a su arribo. Esto abarcó la mayoría de los cambios descritos en la sección 4.1.

Afortunadamente, *Sugarscape* estaba programado en Object Pascal y con considerable atención a la generalidad. Por lo tanto, fue posible efectuar la mayoría de estos cambios como substituciones de valores de parámetros o "mover los interruptores".

A su llegada a Ann Arbor, se mantuvo una reunión para resolver varias ambigüedades que quedaban sobre de la base a la lectura del texto de Axelrod. Señalamos una implicancia de esto; bajo estándares corrientes de reporte de un modelo de simulación, a menudo no será posible resolver todas las cuestiones para un ejercicio de alineamiento. Por ende, será necesario ya sea contactar al autor del modelo meta, o tener acceso al código fuente, o bien tener acceso a una documentación del modelo meta más completa de cuanto generalmente se proporciona en las descripciones publicadas en los periódicos contemporáneos.

La reunión determinó también cuáles eran los pasos que había que dar a continuación. Axtell pasó una tarde efectuando programación adicional. Al día siguiente fue posible correr una cantidad de casos que serían necesarios para construir una versión *Sugarscape* de los resultados de Axelrod.

Dos meses más tarde, mientras se preparaba para tomar nota de los resultados, Axtell advirtió que se necesitaba otro cambio para el acoplamiento. Mientras que el ACM alteraba el agente activo cuando ocurría una apropiación, el modelo *Sugarscape* original alteraba al vecino del agente. Esto hizo una sutil diferencia porque los agentes del borde del territorio tienen menos vecinos que los del interior. Para estar seguros de que cada sitio tenía la misma posibilidad de cambiar, se necesitó el método ACM. Cuando se advirtió esto, Axtell hizo el cambio necesario para la implementación de *Sugarscape,* y generó los datos mostrados en el cuadro A.1 y en la figura A.1.

Tiempo total requerido

Las diversas tareas implicadas en este ejercicio de acoplamiento y las extensiones experimentales del ACM se detallan en los cuadros A.2 y A.3. Estos dos cuadros proporcionan una descripción de las tareas específicas emprendidas por Axelrod y Axtell respectivamente, junto con los tiempos requeridos para cada una. Considerando todo, el trabajo llevó alrededor de veintitrés horas para Axelrod y treinta y siete horas para Axtell.[16]

16 Estos números no incluyen el tiempo insumido a los cuatro participantes en escribir este informe.

CUADRO A.2. *Bitácora de trabajo de Axelrod*

Diseño del estudio de replicación

1. Discusión con Cohen sobre la idea general del experimento de replicación, incluyendo la adecuación de mi modelo cultural y de *Sugarscape* para este propósito. (horas:minutos, 3:00)
2. Escribir carta a Axtell y Epstein especificando lo que hemos llamado experimento de acoplamiento, incluyendo la elección de puntos de datos a ser comparados. (Cohen ya discutió la idea con ellos en Viena.) (1:00)
3. Arreglos de viaje para Axtell y Epstein. (1:00)
4. Discusión del experimento de acoplamiento y su motivación entre nosotros cuatro, especialmente la importancia de efectuar lo que hemos llamado equivalencia distributiva, en lugar de equivalencia relacional. (1:00)
5. Discusión entre nosotros cuatro sobre los detalles del modelo cultural de Axelrod. Esto incluyó la discusión acerca de la frase que decía "la posibilidad de interacción es proporcional a la similitud cultural que dos vecinos ya tienen", donde la similitud cultural es la proporción de atributos que tienen el mismo valor. Axtell había implementado esto literalmente, pero yo señalé que en realidad utilizo un método más eficiente (y equivalente), es decir, permitir la interacción si un único atributo elegido al azar tiene el mismo valor. (1:00)
6. Especificación preliminar de lo que se convirtió en el experimento de movilidad. Véase la subsección "Un experimento de movilidad". (2:00)

   SUBTOTAL: 9:00

Análisis de datos

1. Extracción de datos clave en bruto de la memoria de mi vieja computadora para que Axtell los utilice para compararlos con los suyos. (1:00)
2. Comunicaciones con Axtell acerca de la recepción de sus datos, y la actualización después de que los corrija para cambiar al agente en lugar del vecino. Véase la subsección "El proceso de acoplamiento". (2:30)
3. Discusiones con Cohen y un asesor estadístico, Pat Guire, sobre la prueba estadística apropiada. (3:00)
4. Colocar los datos de Axtell en un formato compatible con el mío, y calcular estadísticas básicas. (2:00)
5. Consideración de posibles razones alternativas por las cuales el intento original de acoplamiento no tuvo éxito para el caso de la grilla de 20 x 20. Desarrollo de pruebas de estas posibilidades (por ejemplo, un virus en mi código o en el código de Axtell) e identificación tanto de la causa probable como de diferencias en los métodos de activación. Véase la subsección "Sugarscape reproduce los resultados centrales del modelo cultural de Axelrod". (5:30)

   SUBTOTAL: 14:00

   TOTAL: 23:00

CUADRO A.3. *Bitácora de trabajo de Axtell*

Cambios en el código efectuados en Ann Arbor

1. Generalizar la representación de cultura de tipo BOLEANA a un tipo enumerado. (horas:minutos, 0:10)
2. Cambiar la inicialización de agentes:
   A. Llenar la grilla densamente con agentes. (0:20)
   B. Dar a los agentes culturas iniciales al azar. (0:20)
3. Implementar una versión de la regla cultural de Axelrod. (1:00)
4. Trazar fronteras entre agentes no culturalmente idénticos. (0:30)
5. Nuevo criterio de cesación. (0:15)
6. Contar culturas distintas (subrogar para contar regiones). (0:15)
7. Cambiar el paisaje del toroidal a cuadrado. (desdeñable, < 0:01)
8. Desactivar todas las otras reglas de Sugarscape. (desdeñable, < 0:01)
9. Despejar todo lo anterior. (1:00)

SUBTOTAL: 3:50

Modificaciones subsecuentes del código

1. Modificar representación de vecindad de manera que los agentes en el borde de la grilla no intenten interactuar con vecinos inexistentes (NIL). (0:30)
2. Representar regiones como redes sociales y luego utilizar la "medida de la camarilla" del objeto red social para contar las regiones. (Esto obvió la necesidad del paso 6 más arriba.) (0:30)
3. Archivar resultado del número de regiones culturales. (0:10)

SUBTOTAL: 1:10

Corriendo el modelo

1. Hacer archivos ejecutables para varias fijaciones de parámetro. (0:40)
2. 90 partidas para la comparación con los datos de Axelrod sobre los aspectos y valores/aspecto. Véase la figura A.1. (2:00)
3. 120 partidas para la comparación con los datos de Axelrod sobre la extensión de la grilla. Véase la figura A.1. (8:00)

SUBTOTAL: 10:40

Comparación estadística

1. Desarrollo de la prueba U de Mann-Whitney en Mathematica. (2:00)
2. Análisis de los datos utilizando la prueba U de Mann-Whitney. (1:00)
3. Desarrollo de las rutinas de análisis de Kolmogorov-Smirnov (K-S) en Mathematica. (4:00)
4. Análisis de datos utilizando la prueba de K-S. (2:00)

SUBTOTAL: 9:00

(Continúa)

CUADRO A.3

(continuación)

Experimento de movilidad (véase la subseección "Un experimento de movilidad")

1. Modificar el criterio de cesación para considerar las interacciones de los agentes con toda la población. (0:10)
2. Trama de series de tiempo para el número distinto de culturas. (1:00)
3. Instalar la versión sopa del *Sugarscape* con la regla de cultura de Epstein-Axtell reemplazada por la de Axelrod. (0:10)
4. Hacer archivo ejecutable. (0:05)
5. Realizar múltiples partidas del modelo. (1:00)

SUBTOTAL: 2:25

Experimento "Pura sopa" (véase la subsección "Un experimento 'sopa'")

1. Instalar la versión sopa del *Sugarscape* con la regla de cultura de Axelrod. (0:10)
2. Hacer archivo ejecutable. (0:05)
3. Efectuar múltiples realizaciones de este modelo. (1:00)

SUBTOTAL: 1:15

Reacoplamiento (véase la subsección "Sugarscape *reproduce los resultados centrales del modelo cultural de Axelrod")*

1. Cambiar activación del agente de secuencial a aleatoria. (0:10)
2. Volver a correr el modelo (40 partidas). (8:00)
3. Análisis de nuevos datos. (0:20)

SUBTOTAL: 8:30

TOTAL: 36:50

Factores que vuelven este caso relativamente fácil

Hay al menos cuatro factores que pueden ser identificados como contribuciones a la relativa facilidad con la cual se realizó la prueba de equivalencia. Primero, desde su inicio, el programa *Sugarscape* fue escrito con el objetivo de maximizar la generalidad y la facilidad de cambio. Estas metas no son especialmente fáciles de alcanzar en la práctica, pero por cierto, la programación orientada a los objetos ayudó.[17]

Un segundo factor que contribuye positivamente es la extrema simplicidad del modelo de Axelrod. Esto permitió que la descripción fuese esencialmente completa. Si el ACM hubiese contenido tantos procesos como Sugarscape, ha-

[17] Habría que decir que Axtell, el programador principal en *Sugarscape*, es un practicante relativamente habilidoso. No tiene experiencia produciendo un código de calidad comercial, pero su entrenamiento incluye un doctorado en computación científica.

bría sido considerablemente más difícil llevarlos a ambos a alinearse tan completamente.

Un tercer factor fue lo reciente del proyecto ACM. La comparación estadística requirió los 210 puntos completos que subyacen a los resultados reportados en el artículo original.[18] Fue relativamente fácil proveerlos para el investigador original, pero esto podría no ser así en otros casos.

Un cuarto factor, ya mencionado brevemente, es la coincidencia subyacente de lo dos modelos en un marco básico, "orientado a los agentes". En ausencia de eso, las arquitecturas de los dos modelos podrían haber sido tan diferentes como para tornar el proyecto inconcebible.

Factores que vuelven este caso relativamente difícil

Del otro lado de la balanza, hay diversos factores en este estudio de caso que probablemente tornaron el ejercicio más difícil de lo que futuros casos podrían ser. En primer lugar, entre éstos está la probabilidad de que en el futuro los modelos puedan construirse con una clara perspectiva de prueba de equivalencia. El ACM no existía cuando *Sugarscape* fue diseñado. Por lo tanto, demostrar su equivalencia con el ACM no se contaba entre sus especificaciones de diseño. Si así hubiese sido, la prueba de equivalencia podría haber sido aun más simple.

Además, uno puede imaginar plausiblemente que un día podría haber una cantidad de módulos de código estandarizados disponibles que sean vueltos a usar en sucesivos proyectos de modelado. Una cantidad impensada de generadores cumplen este criterio hoy en día, y elementos de modelo más sustantivos pueden hacerlo en el futuro. Esto, también, podría disminuir sustancialmente los costos de la prueba de equivalencia.

En general, diríamos que no encontramos completamente sencillo alinear los dos modelos. Pero tuvimos la posibilidad de llevarlo a cabo finalmente. Y aunque las dificultades que encontramos al reconciliarlos puedan parecer perturbadoras, deberíamos recordar que no carecen de precedente. El cálculo diferencial e integral produjo resultados diferentes en manos de distintos investigadores, hasta que los fundamentos se hicieron más sólidos en el siglo XIX mediante la obra de Cauchy y Weierstrass (Kramer, 1970). ¿Y cuál es la alternativa a confrontarse con estas dificultades? ¿Mirar para otro lado y apoyar nuestra teorización en supuestos de equivalencia no verificados?

[18] Hubo diez partidas para cada uno de los nueve casos del cuadro A.1, y cuarenta partidas de cada uno de los tres casos utilizados para la comparación de la figura A.1.

Observaciones sobre el valor y las dificultades del alineamiento

Concluimos con alguna observación adicional sobre tres cuestiones: si es probable que el encuentro cara a cara que utilizamos en este esfuerzo de alineamiento sea típico; cómo podríamos clasificar diferentes aproximaciones a la definición de "equivalencia"; y una breve propuesta para el uso de pruebas de equivalencia en evaluaciones realizadas sobre propuestas de publicación y solicitudes de fondos para investigación.

Hay un punto en el cual el proceso que reportamos podría no ser típico de los alineamientos que se harían en el futuro si este tipo de análisis ha de tornarse más común. Una reunión como la que Epstein y Axtell tuvieron podría no ser necesaria en general. La reunión que se mantuvo sirvió para dos funciones: establecer detalles acerca del procedimiento de alineamiento y clarificar particularidades ambiguas del ACM. Si la situación fuera la de la comparación con un modelo publicado situado en una línea establecida de investigación, las anteriores cuestiones podrían ser decididas enteramente por el autor de un nuevo modelo que busca establecer su equivalencia con uno más viejo. Imaginamos que esta situación podría hacerse más común.

La segunda función del encuentro, resolver ambigüedades sobre la construcción del modelo meta, no es una que imaginemos que sea probable que desaparezca. Por el contrario, muchos modelos meta serán considerablemente más complejos que el ACM. Sin embargo, también podría ser verdad que aquellos que intenten mostrar que un nuevo modelo es equivalente a uno viejo tendrán código fuente para el viejo, un recurso que deliberadamente no fue empleado en este caso. También podría ser verdad que los criterios de equivalencia pueden ser más sueltos de lo que fueron en este caso, un punto que discutimos más abajo.

Considerando todos estos factores, nuestra impresión es que pueden hacerse buenos alineamientos sin reuniones reales de los autores de los modelos. Esto será tanto más probable si los autores que informan sobre sus modelos comienzan a asumir que más tarde pueden intentarse alineamientos y, por lo tanto, pueden volverse cuidadosos acerca de proporcionar información que puede ser esencial para esos esfuerzos. Enfatizamos que (1) una exposición precisa, detallada del modo como funciona el modelo es de una importancia crítica, y (2) se necesita información distributiva acerca de las medidas informadas si un investigador posterior ha de utilizar métodos estadísticos para probar equivalencia.

Como señalamos más arriba, el problema de especificar qué ha de tomarse como comportamiento de modelo "equivalente" no es de ninguna manera trivial. Nuestras reflexiones sobre ello sugieren que hay por lo menos dos catego-

rías de equivalencia más allá del criterio obvio de la identidad numérica, que no ha de esperarse en ningún modelo que tenga elementos estocásticos. Llamamos a estas dos categorías equivalencia "distributiva" y "relacional". Por equivalencia distributiva nos referimos a una muestra de que dos modelos producen distribuciones de resultados que no pueden distinguirse estadísticamente. Éste es el nivel de equivalencia por el que eventualmente elegimos probar nuestro caso. Por "equivalencia relacional" queremos decir que puede mostrarse que los dos modelos producen la misma relación interna entre sus resultados. Por ejemplo, ambos modelos podrían mostrar que una variable particular es una función del tiempo al cuadrado, o que alguna medida sobre la población disminuye uniformemente con el tamaño de la población.

Claramente, la equivalencia relacional será por lo general una prueba "más débil", menos exigente. Pero para muchos propósitos teóricos puede bastar. Y la equivalencia distributiva a veces sólo puede ser posible con el alineamiento de detalles paramétricos de los dos modelos, lo que sería bastante trabajoso de lograr.

Finalmente, nuestra experiencia en general positiva en esta empresa nos ha hecho pensar que podría ser beneficioso si el alineamiento y la prueba de equivalencia fuesen más ampliamente practicados entre los modeladores por computadora. Puede hacerse dentro del razonable nivel de esfuerzo de unos pocos días o semanas de trabajo, posiblemente menos si se lo planea desde el comienzo. Y las consecuencias son muy grandes. El grupo *Sugarscape* ahora puede decir con confianza que su modelo puede ser modificado para reproducir los resultados del ACM, y pueden señalar mecanismos específicos de *Sugarscape* que son suficientes para cambiar el efecto del mecanismo de transmisión del ACM. Esto comienza a construir una confianza en que otros resultados con Sugarscape podrían resistir a través de una potencial variación en lo específico de su proceso de transmisión cultural.

Los lectores de trabajos sobre *Sugarscape* y el ACM pueden tener ahora una concepción más clara de cómo se relacionan el uno con el otro. Y futuros modeladores de transmisión cultural tendrán una comprensión más clara de las consecuencias probables de diferentes mecanismos de transmisión. En suma, la comunidad interesada obtiene de tal ejercicio un sentido más preciso de la robustez y el espectro de plausibilidad de los resultados del modelo. Y se han establecido puntos de diferencia que pueden suministrar evidencia empírica para discriminar entre los modelos. Éstos son sellos de calidad mayores de la teorización disciplinaria acumulativa que son inaccesibles sin el alineamiento de modelos.

Hemos llegado a pensar que sería valioso si los autores de modelos computacionales supieran que obtendrían crédito por haber hecho esos

alineamientos. Si se animara a los críticos de las publicaciones periódicas y de las presentaciones para los subsidios a la investigación a dar un peso positivo sustancial a dichas demostraciones, y los autores conocieran esta política, los efectos podrían ser dramáticos. Entre otras cosas, esto crearía un incentivo para establecer un modelo en un área de indagación que podría servir fácilmente como punto de referencia para las comparaciones mediante modelos posteriores. El resultado bien podrían ser más familias –y más extensas– de modelos computacionales que exhiban una red explícita y clara de relaciones unos con los otros. Ésta sería una importante ganancia sobre la situación presente en la que, con un reducido número de excepciones, cada modelo ha sido construido enteramente desde el principio.

El modelado por computadora ofrece una impactante oportunidad de labrar mundos en miniatura, y esto invoca poderosos impulsos creativos dentro de todos nosotros. William Blake expresó esta profunda necesidad en su *Jerusalem* ([1804] 1974, pl. 10, 1.20): "Debo Crear un Sistema, o ser esclavizado por el de otro Hombre; / No voy a Razonar y Comparar: mi tarea es Crear".* Pero si estas maravillosas posibilidades nuevas del modelado por computadora han de convertirse en herramientas intelectuales unidas a los requerimientos del avance de nuestra comprensión de los sistemas sociales, debemos vencer el impulso natural de la creación encerrada en sí misma y desarrollar cuidadosamente la metodología para utilizarlas para "Razonar y Comparar".

Referencias

ANDERSON, Paul A. y Gregory W. Fischer (1986), "A Monte Carlo Model of a Garbage Can Decision Process", en James March y Roger Weissinger-Baylon, (comps.), *Ambiguity and Command: Organizational Perspective on Military Decision Making*, Marshfield, Pitman Publishing, pp. 140-164.

AXELROD, R. (1997), "The Dissemination of Culture: A Model with Global Polarization", en *Journal of Conflict Resolution*, 41, pp. 203-26. Incluido como cap. 7 en este volumen.

BLAKE, W. [1804] (1974), *Jerusalem, the Emanation of the Giant Albion*, Londres, B. Quarich.

BURTON, R. M. y B.Obel (1995), "The Validity of Computational Models in Organization Science: From Model Realism to Purpose of the Model", en *Computational and Mathematical Organization Theory* 1, pp. 57-71.

CARLEY, K. (1991), "A Theory of Group Stability", en *American Sociological Review*, 56, pp. 331-354.

* *I must Create a System, or be enslav'd by another Man's; / I will not Reason and Compare: my business is to Create* [N. de T.].

CAVALLI-SFORZA, L. L. y M. W. Feldman (1981), *Cultural Transmission and Evolution: A Quantitative Approach*, Princeton, Princeton University Press.

COHEN, M. D., J. G. March y J. P. Olsen (1972), "A Garbage Can Model of Organizational Choice", en *Administrative Science Quarterly*, 17, pp. 1-25.

CYERT, R. M. y J. G. March (1963), *A Behavioral Theory of the Firm*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

DUTTON, J. M, y W. H. Starbuck (19719, *Computer Simulation of Human Behavior*, Nueva York, Wiley.

EFRON, B. y R. J. Tibshirani (1993), *An Introduction to the Bootstrap*, Nueva York, Chapman and Hall.

EPSTEIN, J. M. y R. Axtell (1996), *Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up*, Washington, The Brookings Institution; Cambridge (EE. UU.), MIT Press.

FRIEDKIN, N. E. y E. C. Johnsen (1990), "Social Influence and Opinions", en *Journal of Mathematical Sociology*, 15, pp. 193-205.

HARRISON, J. R. y G. R. Carroll (1991), "Keeping the Faith: A Model of Cultural Transmission in Formal Organizartions", en *Administrative Science Quarterly*, 36, pp. 552-582.

HOEL, P. G. (1962), *Introduction to Mathematical Statistics*, 3ª ed., Nueva York, Wiley.

KNEPELL, P. L. y D. Arangno (1993), *Simulation Validation, A Confidence Assessment Methodology*, Los Alamitos, IEEE Computer Society Press.

KRAMER, E. E. (1970), *The Nature and Growth of Modern Mathematics*, vol. 2, Greenwich, (EE.UU.), Fawcett.

LANE, D. (1993), "Artificial Worlds and Economics, Parts 1 and 2", en *Journal of Evolutionary Economics*, 3, pp. 89-107, 177-197.

LATOUR, B. y S. Woolgar (1979), *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, Beverly Hills, Sage Publications.

MARCH, J. G. (1991), "Exploration and Exploitation in Organizational Learning", *Organization Science*, 2, pp. 71-87.

NOWAK, A., J. Szamrej y B. Latane (1990), "From Private Attitude to Public Opinion: A Dynamic Theory of Social Impact", en *Psychological Review*, 97, pp. 362-376.

PUTNAM, R. (1966), "Political Attitudes and the Local Community", en *American Political Science Review*, 60, pp. 640-654.

RENFREW, C. (comp.) (1973), *The Explanation of Social Influence: Models in Prehistory*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.

SABLOFF, J. A. (comp.) (1981), *Simulation in Archeology*, Albuquerque, University of New Mexico Press.

SIEGEL, S. (1956), *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, Nueva York, McGraw-Hill.

WUENSCHE, A. y M. J. Lesser (1992), *The Global Dynamics of Cellular Automata: An Atlas of Basin of Attraction Fields of One-Dimensional Cellular Automata*, Reading, Addison-Wesley.

Apéndice B
Recursos para el modelado basado en los agentes

La teoría de la complejidad y el modelado basado en los agentes son relativamente nuevos para las ciencias sociales. Por esta razón, no hay libros de texto abarcadores y sólo hay muy pocas cátedras universitarias sobre la materia. La gente que quiere aprender las técnicas de investigación del modelado basado en los agentes en general tiene que hacerlo por su cuenta.

En la Universidad de Michigan, recientemente impartí un curso "manos a la obra" sobre Teoría de la Complejidad en las Ciencias Sociales. El foco primordial estuvo puesto en aprender cómo realizar un modelado basado en los agentes estudiando ejemplos y llevando a cabo proyectos. El curso atrajo a estudiantes de grado y de posgrado de ciencias políticas, economía, antropología, biofísica y ciencias de la computación. También atrajo a oyentes de las facultades de ciencias políticas, matemática, negocios y psiquiatría. Preparar este curso me dio la oportunidad de recolectar una variedad de recursos en este campo, y me forzó a decidir lo que realmente vale la pena aprender. Impartir el curso me dio una noción de cuáles son las preguntas y problemas que son más probables que tengan los estudiantes.

Escuchar a estudiantes de un espectro tan amplio de contextos reforzó mi apreciación de cuán importantes son nuestras disciplinas tradicionales para formar nuestra comprensión del universo. Por ejemplo, un estudiante de economía igualaba implícitamente "comportamiento" con "opción", y "opción" con "elección racional". Esto es todo un salto. Un estudiante de ciencias políticas se preguntaba si el salto está avalado, y un antropólogo estaba totalmente seguro de que no. Personas provenientes de la biofísica o de las ciencias de la computación consideraban "opción" simplemente como una cuestión de optimización o adaptación, según cuál fuera el problema.

A pesar de estas enormes diferencias de perspectiva, los conceptos de la teoría de la complejidad y las técnicas del modelado basado en los agentes pueden servir de hecho como herramientas efectivas de investigación para todas estas disciplinas. Mejor aun, permiten que las personas aprendan unas de las otras a

pesar de sus diferencias. Así como la teoría de los juegos sirvió para unir los estudios de estrategia a través de las ciencias sociales y la biología evolutiva, del mismo modo, la teoría de la complejidad y el modelado basado en los agentes pueden servir para unir los estudios de fenómenos emergentes a través de un espectro de campos igualmente amplio. Por ejemplo, los proyectos de los estudiantes de mi curso iban desde el diseño de instituciones para los derechos de la pesca y las bibliotecas digitales hasta la comprensión de la congestión del tráfico y el repliegue de las proteínas.

El material que se ofrece aquí está destinado ya sea a docentes o a estudiantes independientes del modelado basado en los agentes.

Si usted se lanza a construir y correr un modelo basado en los agentes, y no simplemente a leer sobre ellos, le espera una buena diversión. Es delicioso observar una creación que es su propia obra. Los agentes a veces parecen ponerse de pie y caminar por ahí. Una sociedad de agentes a menudo hace cosas que usted como su creador nunca soñó que harían o podrían siquiera hacer. Como lo señala Kelly (1994, 351), es humano querer dar vida y libertad; decir: "Aquí tienes tu vida *y* las llaves del auto".

Referencia

KELLY, Kevin (1994), *Out of Control: The Rise of Neo-Biological Civilization*, Reading, Addison-Wesley.

Recursos para el modelado basado en los agentes

Este apéndice ofrece recursos para aprender más sobre la teoría de la complejidad y el modelado basado en los agentes en las ciencias sociales. Las tres secciones proporcionan:

- consejo sobre técnicas de simulación por computadora;
- ejercicios para aprender cómo hacer modelado basado en los agentes; y
- un programa para un breve curso de modelado basado en los agentes en las ciencias sociales.

Asociado a este volumen hay un sitio en Internet.[1] El sitio ofrece enlaces al código fuente y a la documentación para la mayoría de los modelos contenidos en este libro, así como a los ejercicios de este apéndice. El sitio ofrece también enlaces a información sobre literatura, personas, organizaciones, *software* y oportunidades educativas relacionadas con la complejidad, el modelado basado en los agentes y la cooperación.

Simulación por computadora para el modelado basado en los agentes

Programar el propio modelo basado en los agentes

Hay varios entornos de programación específicamente diseñados para los modelos basados en los agentes.

1. StarLogo es un entorno de modelado programable para explorar los comportamientos de sistemas descentralizados, como las bandadas de pájaros, los atascos del tráfico y las colonias de hormigas. Está diseñado especialmente para ser usado por estudiantes. Resnick (1994) provee una excelente introducción. Aunque no está diseñado para investigaciones serias, StarLogo ofrece

[1] http://pscs.physics.lsa.umich.edu/Sofware/ComplexCoop.html

una manera fácil de iniciarse en el modelado basado en los agentes para alguien que nunca ha hecho ninguna programación. StarLogo está disponible para computadoras Macintosh sin cargo en Internet. Otra versión de la familia Logo que puede correr muchos agentes a la vez se consigue comercialmente como Microworlds Project Builder. Viene con un excelente interfaz para el usuario, y está disponible tanto en versión PC como Macintosh.

2. Para programadores avanzados, el entorno de programación Swarm ofrece un conjunto muy rico de herramientas para el modelado basado en los agentes. Permite jerarquías anidadas de agentes, control total del inventario de acontecimientos, y sondas para reportar el estado actual de los agentes y de su entorno. El sistema Swarm se consigue gratis en el sitio Web del Santa Fe Institute. El sistema corre en UNIX, y requiere programación en Objective C. La aspiración de los diseñadores es que la comunidad de los usuarios de Swarm tenga la posibilidad de compartir el conjunto de herramientas de simulación siempre en expansión de cada uno de los otros. Para quienes estén familiarizados con UNIX y cualquier versión de C orientada a los objetos, Swarm es una buena opción porque sus poderosas herramientas facilitan la tarea de implementar un nuevo modelo y analizar su dinámica.

Seleccionar un lenguaje de programación

Dado que StarLogo no está diseñado para la investigación seria, y que Swarm requiere una sofisticación considerable en la programación, muchos modeladores prefieren trabajar con las herramientas para propósitos generales que vienen con el compilador de un lenguaje de programación estándar. Esto lleva a la pregunta de qué lenguaje de programación usar. Mi respuesta es que aunque existen muchos tipos de lenguajes de programación, un principiante debería seleccionar un lenguaje de procedimiento.[2] Los lenguajes de procedimiento

[2] Entre las alternativas de los lenguajes de procedimiento comunes se cuentan las siguientes: LISP es un lenguaje funcional preferido por muchos investigadores en inteligencia artificial, y es especialmente bueno para manejar estructuras de datos y programas de manera intercambiable. Desafortunadamente, LISP es relativamente difícil de aprender, y en general corre mucho más lentamente que los lenguajes de procedimiento compilados.

Mathematica y Maple son lenguajes funcionales especialmente buenos para análisis de datos y gráficos.

Stella está diseñado para problemas que involucran sistemas de diferencia o ecuaciones diferenciales. Desafortunadamente, usualmente no es fácil representar un modelo basado en los agentes en este marco.

Gauss está diseñado para problemas estadísticos avanzados. Facilita la tarea de hacer mani-

más comunes son Basic, FORTRAN, Pascal y C. Estos lenguajes tiene diferentes historias y características.

1. Basic está diseñado para principiantes, y es tal vez el más simple de aprender y usar. Es adecuado para pequeños proyectos, pero normalmente corre más lento que otros lenguajes para proyectos que involucran grandes cantidades de computación. Las primeras versiones de Basic eran bastante rudimentarias, pero usar las versiones recientes es un deleite. Por ejemplo, Visual Basic tiene herramientas para construir buenas interfaces de usuario, así como herramientas para eliminar fallas. Visual Basic está disponible dentro de algunos programas *de hojas de cáculo* como Excel. La integración de un lenguaje de programación dentro de *una hoja de cáculo* es una manera muy conveniente de combinar el control total de un lenguaje de programación con la apariencia y la sensación intuitiva de *una hoja de cáculo.*
2. FORTRAN es un viejo lenguaje que no es conveniente usar como los otros. Debido a su edad y su popularidad previa, muchos programadores están familiarizados con él, y muchos viejos programas están disponibles en FORTRAN. Un principiante, sin embargo, definitivamente debería elegir uno de los lenguajes más modernos.
3. Pascal fue diseñado para ser el primer lenguaje destinado a programadores serios. Es fácil de aprender, y está estructurado para estimular buenos hábitos de programación. La mayoría de las simulaciones de en este volumen fueron programadas en Pascal.
4. C es el lenguaje de procedimiento más común entre los programadores serios. Está diseñado para permitir una conversión relativamente fácil entre un tipo de computadora y otro. Incluye muchos atajos que un principiante no necesita aprender. Desafortunadamente, la disponibilidad de estos atajos puede tornar difícil la comprensión del código PC de alguien más. Además de la popularidad y compatibilidad de C, otra ventaja es que es la base del más popular de los lenguajes orientados a los objetos, C++. Un lenguaje orientado a los objetos torna los proyectos realmente largos más fáciles de programar. También hace mucho más fácil usar porciones de un viejo programa en un nuevo contexto. Por todas estas razones, C++ fue escogido como el fundamento para el lenguaje de programación Java diseñado para ser usado a lo largo de la *Word Wide Web.*

---

pulación de matriz, por ejemplo. Desafortunadamente, la mayoría de los modelos basados en los agentes no pueden representarse fácilmente de manera que exploten los puntos fuertes de Gauss.

¿Dónde dejan todas estas opciones al principiante? Su usted es un principiante en la programación, mi consejo es evitar FORTRAN y elegir uno de los otros basándose en qué ayuda está fácilmente disponible. Lo que usted más necesitará es alguien que pueda responder preguntas cuando esté atascado. Si un amigo o colega está disponible para contestar preguntas sobre Pascal, por ejemplo, elija Pascal. Alternativamente, si usted quiere tomar un curso de programación y hay uno disponible sobre C, entonces ésa sería una buena elección. Si la disponibilidad de ayuda o instrucción no conduce a una clara elección, entonces usted puede tomar una decisión basado en cuán serio planea usted ser en la programación. Si usted tan sólo quiere hacer la prueba para tener la sensación de hacer su propia programación o tiene una idea simple que quiere probar, entonces Visual Basic es una buena elección. Si usted está bastante seguro de que estará haciendo programación por algún tiempo y quiere empezar con un lenguaje con el que pueda crecer, entonces C o C++ es la mejor elección.

Metas de una buena programación basada en los agentes

La programación de un modelo basado en los agentes debería alcanzar tres metas: validez, aprovechabilidad y extensibilidad.

La meta de la validez es para que el programa implemente correctamente el modelo. (Si el modelo es o no una representación ajustada del mundo real es una clase diferente de validez, que no se considera aquí.) Lograr la validez es más difícil de lo que podría parecer. El problema es saber si un resultado inesperado es un reflejo de un error en la programación o una consecuencia sorprendente del modelo en sí. Por ejemplo, en el modelo de la influencia social presentado en el capítulo 7, hubo menos regiones estables en territorios vastos de las que hubo en territorios de mediana extensión. Hizo falta un análisis cuidadoso para confirmar que este resultado era una consecuencia del modelo, y que no se debía a una falla en el programa.[3]

La meta de la aprovechabilidad es permitirle a usted y a aquellos que sigan corriendo el programa interpretar lo que éste produce, y comprender cómo trabaja. Usted puede estar cambiando lo que quiere lograr mientras hace la programación. Esto significa que usted generará series enteras de programas, en las que cada versión diferirá de las otras de diversos modos. Seguir la huella de todo esto no es trivial, especialmente cuando uno trata de comparar los nuevos

[3] De hecho, una de las contribuciones del ejercicio de alineamiento del apéndice A fue confirmar la validez del programa original.

resultados con el producto de una versión anterior del programa para determinar exactamente qué podría explicar las diferencias.

La meta de la extensibilidad es permitir a un futuro usuario (incluido usted mismo) adaptar el programa a usos posteriores. Por ejemplo, después de escribir un trabajo utilizando el modelo, el investigador podría querer responder a una pregunta acerca de lo que sucedería si se añadiera un nuevo aspecto. Además, algún día otro investigador podría querer modificar el programa para intentar una nueva variante del modelo. Un programa tiene muchas más probabilidades de ser extensible si está escrito y documentado con esta meta en mente.

Administración del proyecto

A fin de estar capacitado para alcanzar las metas de la validez, la aprovechabilidad y la extensibilidad, se debe tener un cuidado considerable en toda la empresa de investigación. Esto incluye no sólo la programación, sino también la documentación y el análisis de los datos. A menudo me encuentro a mí mismo queriendo seguir con la programación lo más pronto posible para ver el producto de la simulación. Ya sea que haga la programación y documentación yo mismo o utilice un asistente de investigación, tiendo a estar muy impaciente por ver resultados. He aprendido por el camino difícil que la prisa realmente genera pérdidas. Los resultados rápidos a menudo son poco confiables. Los buenos hábitos aminoran la velocidad al principio, pero aceleran las cosas a largo plazo. Los buenos hábitos ayudan al evitar algunos costosos errores y confusiones que pueden demandar un enorme esfuerzo desentrañar.

Si usted está empezando a realizar simulaciones por computadora, vale la pena construir buenos hábitos. Sus propias necesidades dependerán de su experiencia de programación y de las exigencias del proyecto. El propósito es desarrollar un conjunto de hábitos que sean efectivos, con un mínimo de costo administrativo. Éstas son algunas recomendaciones basadas en mi propia experiencia:

1. Use nombres largos para casi todas las variables en lugar de nombres cortos que serán incomprensibles un mes más tarde. Es bonito usar i y j, o x e y para unas pocas variables realmente comunes. Más allá de eso, sin embargo, la claridad de los nombres largos recompensa el tipeo extra o el cortar y pegar.
2. Enumere todas las variables al comienzo del programa. Algunos lenguajes, como Pascal y C, le exigen que declare todas las variables y su tipo (por ejemplo, número entero o punto flotante) antes de usarlas. Otros lenguajes,

como Visual Basic, hacen de la declaración explícita de las variables algo opcional. Fuércese a usted mismo a ser explícito acerca de declarar las variables con anticipación a su uso. Esto lo salvará de muchas horas de detección de fallas ya que le advertirá que el nombre mal escrito de una variable en lo profundo del código es ilegal, en lugar de dejar que el compilador haga la falsa suposición de que se la entiende como una nueva variable.

3. Escriba comentarios útiles. Por ejemplo, cuando usted declara una variable, escriba un comentario sobre lo que se pretende que la variable represente, y cómo se la distingue de las variables relacionadas. Del mismo modo, escriba comentarios en el cuerpo del código para describir lo que hace cada subrutina y cómo encaja en el programa principal. Es una buena idea tener tanto texto en comentarios como en código. Días o meses más tarde, estos comentarios pueden ser muy útiles.
4. Desarrolle la secuencia de programas de manera que sean compatibles hacia arriba. Esto significa que las versiones posteriores deberían incluir los aspectos útiles de las viejas versiones. Suponga, por ejemplo, que usted comienza con un modelo que emplea un orden de celdas de 10 x 10, cada una exactamente con cuatro vecinos. Usted puede hacer esto haciendo que el mapa se "enrolle" en redondo, convirtiendo de esa manera a las celdas de los bordes norte y sur en vecinas, y haciendo lo mismo con las celdas de los bordes este y el oeste. Suponga que más tarde quisiera tener un mapa plano con fronteras en los bordes. No debería borrar la porción de código que se ocupa de las vecindades en el mapa original. En cambio, debería aislar esa porción como una subrutina, y escribir otra subrutina que se ocupe de las vecindades en el nuevo mapa. Luego debería agregar un parámetro de control que sirva como un interruptor que especifique si una determinada partida utiliza el mapa enrollado en redondo o el mapa plano. Hacerlo de esta manera le da la opción de regresar a un mapa enrollado en redondo en una ocasión posterior.
5. Clasifique completamente lo producido. Lo producido debería incluir el tiempo y fecha de la partida, un número de partida secuencial, el número de la versión del programa, la fijación de todos los parámetros que especifican la naturaleza de la partida, y la semilla del número aleatorio si es que la hay. El producto debería permitirle replicar una partida con exactitud. Si las versiones son compatibles hacia arriba, como se sugirió antes, usted estará en condiciones de replicar una partida anterior utilizando cualquier versión posterior del programa.
6. Practique la programación defensiva. Tomarse unos pocos minutos en ser cauteloso puede salvar horas de búsqueda de una falla misteriosa. Como ya

lo mencioné, vale la pena declarar explícitamente todas las variables de manera que algunas erratas puedan ser detectadas a tiempo, y vale la pena usar nombres de variables largos de manera que un mes más tarde no se quede usted confundido acerca de lo que una misteriosa "XKLT" puede significar. Otra acción defensiva es declarar los límites pretendidos de sus variables de manera que usted pueda utilizar los aspectos automáticos de detección de fallas de su compilador. Por ejemplo, si la Agent_X_Location debería estar entre 1 y Max_X_Coordinate, entonces asegúrese de que su compilador lo sepa, o de que usted lo confirme en su código. Finalmente, utilizar una técnica de programación llamada "indicadores" es peligroso. Aunque los indicadores pueden ser la manera más eficiente de programar ciertas relaciones, deberían utilizarse con gran cuidado porque un error con un indicador a menudo puede causar extraños síntomas que pueden ser muy difíciles de aislar y reparar.

7. Documente cada versión del código a medida que avanza. La documentación debería incluir la especificación exacta del modelo, una descripción de los algoritmos utilizados en los cálculos, detalles sobre las capacidades necesarias, e información acerca de cómo leer lo producido. Explicar lo producido es particularmente importante porque una columna de datos normalmente tiene un rótulo tan breve que usted puede no estar seguro de lo que significa un mes más tarde. En muchos casos, la documentación de una nueva versión puede ser tan simple como la siguiente: "La versión 2.3 es la igual que la versión 2.2, excepto que se ha añadido una opción de tener un mapa plano. Esto se ha implementado colocando Mapa_Plano en Verdadero [*Flat_Map to True*]. Si Mapa_Plano está en Falso [*False*], el mapa se enrolla en redondo como en las versiones previas". La documentación no tiene por qué ser elegante ni concisa. Lo que necesita es ser completa y ajustada. Conviene poner alguna documentación en el programa en sí, pero normalmente la documentación completa se maneja con más facilidad en forma de un memorándum escrito con su procesador de palabras.
8. Utilice un programa comercial para hacer la mayor parte del análisis de datos. Dentro de su programa, haga sólo un análisis de datos simple, como el cálculo de promedios, para reducir la cantidad de producción requerida. Más allá de ello, conviene utilizar un *software* confiable desarrollado por otros. Por ejemplo, una buena *hoja de cálculo* le permitirá manipular las variables, hacer análisis estadísticos simples, y graficar los datos de diferentes maneras. Una alternativa a una *hoja de cálculo* es un programa como Mathematica, que incluye no sólo capacidades estadísticas y gráficas, sino también una estructura de libreta de apuntes bien organizada para seguir las huellas de su trabajo.

9. Para validar el programa, chequee la microdinámica, no sólo los resultados agregados. Dado que los modelos basados en los agentes a menudo tienen resultados sorprendentes, normalmente usted no puede confirmar el código chequeando su producto contra resultados conocidos, como podría hacerlo con un generador de números primarios, por ejemplo. En cambio usted tiene que confirmar que su programa está manejando correctamente los detalles. Por ejemplo, debería chequear cómo se comporta un agente determinado en las diversas circunstancias posibles. Esto requerirá reportes en el ínterin que son mucho más detallados de lo que usted necesitará normalmente para el análisis de los datos principales.
10. Si el modelador y el programador son dos personas diferentes, asegúrese de que cada uno de los dos entiende al otro en cada uno de los pasos. Es sorprendentemente fácil que dos personas confíen en que están entendiéndose y luego descubrir que hubo una sutil diferencia en aquello en que cada uno pensó que estaban de acuerdo. Dado que no es fácil validar un modelo basado en los agentes, es especialmente importante que esta clase de programación se base en una comunicación completa y ajustada entre el modelador y el programador.

Hay más administración para proyectar que buena programación. Usted necesita también desarrollar métodos sistemáticos para archivar el producto, analizar los datos, e interpretar los resultados. Por ejemplo, es una buena idea escribirse memorándums a usted mismo a medida que se acerca a su interpretación de determinadas partidas. Como la documentación, estos memos no necesitan ser concisos ni elegantes, pero tienen que ser ajustados. Por ejemplo, suponga que usted está haciendo conjuntos de partidas para ver qué diferencia hace el hecho de que el mapa sea plano o enrollado en redondo. Cuando obtiene los resultados puede escribir un breve memo comparando un conjunto de partidas hechas en un sentido con un conjunto de partidas hechas en el otro sentido. El memo debería incluir la información identificadora a partir del producto, tal como el número de versión del programa, las fijaciones de parámetros y los números de partidas. Esto fácilmente puede ser hecho abriendo el archivo de lo producido, seleccionando la información requerida, y pegándola en el memo que está escribiendo. Luego puede escribir su interpretación de los datos, incluyendo un gráfico o dos copiados de su análisis de los datos comparativos. Una serie de memos como éstos puede servir como un "libreta de notas de laboratorio" que recuerde su progreso para comprender las implicancias de sus decisiones de modelado. Finalmente, los memos pueden proporcionar una base para la sección de análisis de datos de su informe final.

Ejercicios

La mejor manera de aprender sobre modelado basado en los agentes es construir y correr algún modelo. Éste es un conjunto de ejercicios que pueden ayudarlo a iniciarse. Cada uno de ellos puede hacerse en unos pocos días una vez que usted domine un lenguaje de programación. Estos ejercicios son adecuados para su uso en un salón de clases o para el estudio independiente. Los tres primeros ejercicios pueden hacerse mediante modificaciones relativamente simples del código fuente que se consigue en Internet.[4]

Ejercicio 1. Modelo tipping *de Schelling*

Thomas Schelling, mejor conocido por su trabajo sobre la teoría de la disuación, fue también uno de los pioneros del modelado basado en los agentes. Enfatizaba el valor de comenzar con reglas de comportamiento para los individuos y utilizar la simulación para descubrir las implicancias para los resultados de gran escala. Llamó a esto "micromotivos y macrocomportamiento" (Schelling, 1978).

Uno de sus modelos demuestra cómo incluso personas bastante tolerantes pueden comportarse de un modo tal que lleva a conformar vecindarios bastante segregados. Éste es su famoso modelo *tipping* (Schelling, 1978: 137-55). Es bastante simple. El espacio es un damero con sesenta y cuatro casillas cuadradas que representan lugares donde la gente puede vivir. Hay dos tipos de actores, representados por centavos y níqueles.* Uno puede imaginar a los actores como Blancos y Negros. Las monedas están colocadas al azar entre las casillas, con no más de una por casilla. La idea básica es que un actor estará contento si más de un tercio de sus vecinos inmediatos son del mismo tipo que él. Los vecinos inmediatos son los ocupantes de las casillas adyacentes. Por ejemplo, si las ocho casillas adyacentes estuvieran ocupadas, el actor está contento si tres de ellas por lo menos son del mismo tipo que él. Si un actor está contento, se queda en el lugar. Si no está contento, se muda. En el modelo original de Schelling, se movería a una de las casillas más cercanas donde pudiera estar contento. Para los propósitos de este ejercicio, es más fácil usar una variante del modelo en la cual un actor descontento se muda a una de las casillas vacías seleccionada al azar.

El ejercicio consiste en implementar este modelo y explorar su comportamiento. En particular, probar una de las especulaciones de Schelling sobre su modelo *tipping*. Su especulación fue: "Tal vez [...] si los surfistas se preocupan

[4] Véase la primera nota al pie de este apéndice.

* *Pennies and nickels*: monedas de uno y cinco centavos, respectivamente. [N. de T.]

por la presencia de los nadadores menos de lo que los nadadores se preocupan por la presencia de los surfistas [...] los surfistas disfrutarán una mayor extensión de agua" (Schelling, 1978: 153).

Para poner las cosas concretas, suponga que hay veinte surfistas y veinte nadadores.[5] Sean los surfistas contentos si al menos un tercio de sus vecinos son surfistas, y sean los nadadores contentos si al menos la mitad de *sus* vecinos son nadadores. Los actores pueden estar numerados del 1 al 40, y ser activados en el mismo orden en cada ciclo. Corra el modelo por cincuenta ciclos. Después, para cada una de las veinticuatro celdas vacías, escriba una *A* en la celda si sus vecinos son más surfistas que nadadores, y escriba una *B* en la celda si sus vecinos son más nadadores que surfistas. (Probablemente será más fácil hacer este paso a mano que automatizarlo. Luego vea si los surfistas disfrutan una extensión mayor de agua viendo si hay más *A* que *B*. Haga diez partidas para tener alguna idea de la distribución de resultados.

Si usted es un principiante, podría querer sacar ventaja del código fuente y la documentación que he escrito para implementar esta variante del modelo de Schelling. El código fuente se consigue tanto en Visual Basic como en Pascal. Hacer el ejercicio requeriría entonces hacer algunas modificaciones simples en el código para permitir a los dos tipos de actores tener diferentes requisitos para estar contentos.

Ejercicio 2. Modelo tipping *de Schelling, continuación*

El propósito de este ejercicio es estudiar algunos de los efectos de tener números desiguales de los dos tipos de actores. Usted debería utilizar la variante del modelo de Schelling descrita en el primer ejercicio. El ejercicio es para responder a estas dos preguntas y explicar por qué las cosas resultaron como lo hicieron:

1. ¿Quedan las minorías más apretadas que las mayorías?
2. ¿Se asienta más rápido el proceso cuando los números son desiguales?

Para poner las cosas concretas, utilice treinta Blancos y diez Negros, ambos con los requisitos originales (e iguales) para el contento. Para estudios de densidad, use las medidas de *A* y *B* descritas para el primer ejercicio.

Debería disponer que una partida se detenga cuando ya no es posible ningún cambio más. Una manera fácil de hacerlo es utilizar períodos de al menos

[5] Schelling hizo su especulación en el contexto de números desiguales para los dos tipos, pero los números iguales son un buen punto de arranque.

cuarenta acontecimientos para permitir que cada actor sea chequeado al menos una vez. Si no ha habido ningún movimiento en el período actual, eso impicaría que todo el mundo está contento y nadie se moverá más. Como en el primer ejercicio, un principiante podría elegir el código fuente provisto, y hacer los cambios necesarios.

Ejercicio 3. Extensión el modelo de influencia social

Para adquirir práctica en extender un modelo existente, he aquí un ejercicio basado en el modelo de la influencia social descrito en el capítulo 7. El modelo es lo bastante simple como para que incluso agregándole una extensión se mantenga manejable. El propósito de este ejercicio es implementar una extensión particular del modelo para ver qué intuiciones pueden cosecharse.

Una docena de sugerencias se delinean en la sección del capítulo 7 sobre "Extensiones del modelo". He aquí algunos detalles más sobre dos de esas posibilidades.

Diferencias geográficas tempranas. Los valores iniciales de los aspectos culturales se asignan al azar en el modelo básico. Una amplia variedad de experimentos interesantes puede llevarse a cabo dando a algunos o a todos los aspectos valores particulares. Por ejemplo, suponga que uno quiera estudiar los efectos del fenómeno aparentemente universal de que "las cosas son diferentes en el sur". Una manera fácil de hacerlo sería darle a uno o dos de los aspectos culturales un valor en los sitios del norte y un valor diferente en los sitios del sur. ¿Tenderán a formarse regiones basadas en estas pequeñas diferencias iniciales? Si es así, la eventual frontera entre las regiones, ¿correspondería estrictamente a la línea inicial entre el norte y el sur? Otro ejemplo de un experimento interesante sería ver cuán fácil es para una ventaja inicial en los números apropiarse de todo el espacio. Una manera simple de estudiar todo esto es darle un ligero sesgo en la asignación original de valores a aspectos a lo largo de todo el espacio, y luego ver cuánto sesgo hace falta para vencer la tendencia a permanecer sumergido por variaciones aleatorias y eventualmente dominar todo el espacio.

Atractivo cultural. Algunos aspectos culturales podrían verse favorecidos con respecto a otros en el proceso de adopción. Por ejemplo, los números arábigos tienen más probabilidades de ser adoptados por personas que utilizan los números romanos que a la inversa. Este atractivo diferencial de los aspectos culturales puede deberse a la tecnología superior (como en el caso de los sistemas numéricos), o puede deberse a preferencias aparentemente arbitrarias. Una manera de modelar este proceso sería favorecer valores mayores de un determinado aspecto cultural sobre valores menores. Presumiblemente, los aspectos

que son culturalmente atractivos tenderían a expulsar a los aspectos menos atractivos. ¿Cuán atractivo tiene que ser un aspecto para dominar? ¿Lleva el proceso de atractivo diferencial a más amplias (y por lo tanto menos) regiones?

Incidentalmente, no tengo buenas respuestas a las preguntas planteadas por estas dos extensiones sugeridas o por cualquiera de las otras mencionadas en el capítulo 7. Son tópicos de investigación abiertos.

El código fuente y la documentación para el modelo de influencia social se consigue en Internet tanto en Visual Basic como en Pascal.[6]

Ejercicio 4. Ovación de pie

Considere una situación en que las personas están sentadas en un auditorio escuchando una brillante ejecución. Al final, comienza el aplauso, y tal vez siga una ovación de pie. El ejercicio consiste en modelar el proceso de una ovación de pie. Usted debería considerar direcciones de futuro potencialmente interesantes para su modelo. También debería considerar si hay algunos escenarios económicos o sociales que podrían ser modelados de manera útil empleando ese proceso.[7]

Ejercicio 5. Olas humanas

Las personas están sentadas en un estadio de fútbol. Alguien se pone de pie y grita: "Ola". Puede formarse una ola humana si todos siguen la regla A: ponerse de pie por un segundo si uno de los dos vecinos inmediatos (o ambos) están de pie.

Para mantener las cosas dentro de cierta simplicidad, suponga que hay sólo veinte personas, y que están sentadas en un círculo alrededor del campo. Estas personas pueden ser representadas como si estuvieran en una línea, entendiéndose que la persona 20 es adyacente a la persona 1 al igual que la persona 19.

Ahora bien, suponga que las personas siguen también la regla B, que dice que sin importar la regla A, una vez que una persona se sienta, él o ella permanece sentada por al menos dos segundos.

La primera parte del ejercicio consiste en comparar qué pasará bajo la regla A únicamente, y bajo la combinación de las reglas A y B.

La segunda parte del ejercicio consiste en modificar el modelo A-B para tomar en cuenta algunas de las siguientes observaciones o todas:

[6] Véase la primera nota al pie de este apéndice.

[7] Este ejercicio está adaptado a partir de un problema dado en 1995 en el Workshop para graduados de Economía Computacional en el Santa Fe Institute. Fue colocado en Internet con algunas respuestas originales en <http//zia.hss.cmu.edu/econ/homework95>.

1. Una ola humana en realidad se mueve en una dirección más que en dos.
2. Una ola humana puede continuar incluso si hay una persona que nunca se pone de pie.
3. Una ola humana eventualmente se extingue.
4. Algunas personas necesitan permanecer sentadas por más de dos segundos.

Un breve curso de modelado basado en los agentes en las ciencias sociales

Si usted quiere una manera estructurada de aprender más sobre las aplicaciones de la teoría de la complejidad en las ciencias sociales, éste es el esbozo de un breve curso que usted puede hacer por su cuenta. Está diseñado para estudiantes avanzados de grado o de posgrado. El único prerrequisito es el conocimiento de algún lenguaje de programación si usted desea hacer los ejercicios.

El hecho de que la teoría de la complejidad sea un campo nuevo que evoluciona rápidamente tiene dos implicancias importantes para la manera en que el curso está diseñado. Primero, todavía no hay un libro de texto abarcador sobre la teoría de la complejidad. Por lo tanto, la mejor manera de aprender en este campo es leer sobre todo investigación original. Segundo, dado que la principal metodología de la teoría de la complejidad en las ciencias sociales es el modelado basado en los agentes, la mejor manera de aprender en el campo es estudiar una variedad de modelos específicos. Cada uno de los informes sobre modelos específicos contiene no sólo ideas sobre cómo hacer modelado, sino también técnicas útiles para el análisis de datos de simulación, y ejemplos de cómo hacer deducciones a partir del desempeño de los modelos para la comprensión de problemas sociales reales. Incluso si usted está interesado primordialmente en una única disciplina, encontrará que las lecturas sobre muchos de los tópicos contienen ideas que pueden ser usadas en su propio campo de interés.

El curso considera una amplia variedad de aplicaciones de modelos basados en los agentes a las ciencias sociales, incluyendo las elecciones, los mercados, la segregación residencial, la influencia social, la guerra, las alianzas, la formación de naciones y el cambio organizativo. Entre las cuestiones examinadas a través de los modelos se cuentan la dependencia de la trayectoria, la sensibilidad a las condiciones iniciales, la emergencia de la estructura autoorganizada, la adaptación a un entorno cambiante, y los criterios para juzgar la validez de un modelo basado en los agentes.

Los ejercicios descritos más arriba pueden hacerse en paralelo con las lecturas. Los primeros tres ejercicios pueden hacerse en las primeras cuatro semanas. Cada uno de los otros dos ejercicios, o ambos, pueden hacerse hacia la séptima semana.

Si usted es un instructor interesado en desarrollar un curso de un semestre de duración, yo le sugeriría que añada un proyecto mayor a las lecturas y los ejercicios. El proyecto podría ser el desarrollo y análisis de un modelo basado en los agentes original (tal vez uno basado parcialmente en el modelo de alguien más), o bien el proyecto podría ser una revisión y crítica de una aplicación de la teoría de la complejidad a un dominio específico. Los proyectos pueden hacerse individualmente o en pequeños grupos. Las últimas semanas de clase podrían dedicarse principalmente a los informes de los estudiantes sobre sus proyectos.

Lecturas adicionales sugeridas están disponibles en Internet.[8]

Esbozo del curso

1. Introducción a la teoría de la complejidad

Capítulo 1 de este volumen.

SCHELLING, Thomas (1978), *Micromotives and Macrobehavior*, Nueva York, Norton, pp. 137-155.

2. Modelos basados en los agentes

RESNICK, Mitchel (1994), *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*, Cambridge (EE.UU.), MIT Press, pp. 3-19, sobre la descentralización.

EPSTEIN, Joshua M. y Robert Axtell (1996), *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*, Washington, Brookings Institution Press; Cambridge (EE.UU.), MIT Press, introducción.

POUNDSTONE, William (1985), *The Recursive Universe: Cosmic Complexity and the Limits of Scientific Knowledge*, Chicago, Contemporary Books, pp. 24-37, sobre el Juego de la Vida. Programas para correr el Juego de la Vida están disponibles en Internet.

3. Influencia social

AXELROD, Robert (1997), "The Dissemination of Culture: A Model with Local Convergence and Global Polarization", en *Journal of Conflict Resolution*, 41, pp. 203-226. Incluido como capítulo 7 en este volumen.

AXTELL, Robert, Robert Axelrod, Joshua Epstein, y Michael D. Cohen (1996), "Aligning Simulation Models: A Case Study and Results", en *Computational and Mathematical*

[8] El sitio de Internet asociado con este volumen incluye enlaces a una amplia variedad de fuentes de lectura adicionales sobre la teoría de la complejidad. Véase la primera nota al pie de este apéndice.

Organization Theory, 1, pp. 123-141. Incluido en este volumen como apéndice A.

4. Teoría de la organización

MARCH, James G. (1991), "Exploration and Exploitation in Organizational Learning", *Organization Science*, 2, pp. 71-87.

SIMON, Herbert (1982), *The Sciences of the Artificial*, 2ª ed., Cambridge (EE.UU.), MIT Press, pp. 193-230.

5. Política

KOLLMAN, Ken, John H. Miller, y Scott E. Page (1992), "Adaptative Parties in Spatial Elections", *American Political Science Review*, 86, pp. 929-937.

CEDERMAN, Lars-Erik (en prensa), *Emergent Actors in World Politics: How States and Nations Develop and Dissolve*, Princeton, N. J., Princeton University Press, capítulos 8 y 9.

6. Algoritmo genético y el Dilema del Prisionero

HOLLAND, John H. (1992), "Genetic Algorithms", en *Scientific American*, 267, julio, pp. 66-72.

RIOLO, Rick (1992), "Survival of the Fittest", en *Scientific American*, 267, julio, pp. 114-116, sobre cómo elaborar su propio algoritmo genético.

Si usted no está familiarizado con el Dilema del Prisionero, lea Axelrod, Robert (1984), *The Evolution of Cooperation*, Nueva York, Basic Books, pp. 3-69 y 158-168.

AXELROD, Robert (1987), "The Evolution of Strategies in the Iterated Prisoner's Dilemma", en Lawrence Davis (comp.), *Genetic Algorithms and Simulated Annealing*, Londres, Pitman; Los Altos, Morgan Kaufman, pp. 32-41. Incluido en forma revisada como capítulo 1 en este volumen.

7. Algoritmo genético y el Dilema del Prisionero, continuación.

LINDGREN, Kristian (1991), "Evolutionary Phenomena in Simple Dynamics", en C.G. Langton y otros (comps.), *Artificial Life II*, Reading, Addison-Wesley.

8. Economía

ARTHUR, W. Brian (1988), "Urban Systems and Historical Path Dependence", en Jesse H. Ausubel y Robert Herman (comps.), *Cities and Their Vital Systems*, Washington National Academy Press, pp. 85-87.

——— (1993), "Why Do Things Become More Complex?", en *Scientific American*, mayo, p. 144.

EPSTEIN, Joshua M. y Robert Axtell (1996), *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*, Washington, Brookings Institution Press; Cambridge (EE.UU.), MIT Press, capítulos II y IV.

ALBIN, Peter y Duncan K. Foley (1992), "Decentralized, Dispersed Exchange Without an Auctioneer: A Simulation Study", en *Journal of Economic Behavior and Organization*, 81, pp. 27-51.

9. Conceptos de la complejidad

RESNICK, Mitchel (1994), *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*, Cambridge, MIT Press, pp. 129-144, sobre la disposición de pensamiento descentralizada.

TODD, Peter M. (1995), "Unsetting the Centralized Mindset", en *Adaptative Behavior* 3, pp. 225-229. Una útil reseña del libro de Resnick.

GELL-MANN, Murray (1995), "What Is Complexity?", en *Complexity*, 1, pp. 16-19, sobre la medición el grado de complejidad en un sistema.

HOLLAND, John (1995), *Hidden Order*, Reading, Addison-Wesley, pp. 1-40, sobre los elementos de un sistema adaptativo complejo.

BAK, Per y Kan Chen (1991), "Self-Organized Criticality", en *Scientific American*, enero, pp. 46-53.

10. Paisajes adaptativos

AXELROD, Robert, y D. Scott Bennett (1993), "A Landscape Theory of Aggregation", en *British Journal of Political Science*, 23, pp. 211-233. Incluido en este volumen como capítulo 4.

KAUFFMAN, Stuart (1995), *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, Nueva York y Oxford, Oxford University Press, pp. 252-271, sobre su modelo de parches.

COVENEY, Peter y Roger Highfield (1995), *Frontiers of Complexity: The Search for Order in a Chaotic World*, Nueva York, Fawcett Columbine, pp. 130-149, sobre las redes nerviosas.

Referencias

POUNDSTON, William (1985), *The Recursive Universe: Cosmic Complexity and the Limits of Scientific Knowledge*, Chicago, Contemporary Books.

RESNICK, Mitchel (1994), *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*, Cambridge (EE.UU.), MIT Press.

SCHELLING, Thomas (1978), *Micromotives and Macrobehavior*, Nueva York, Norton.

Índice analítico

Abelson, Robert, 186, 212
Abraham, Ralph H., 99, 101, 116, 134, 148
Abramson, Jeffrey, 212
Abreu, Dilip, 67, 87
acoplamiento. *Véase* alineamiento de modelos computacionales
actores políticos, emergencia de nuevos, 19, 21, 153
  criterios para la identificación, 158, 174-175
  modelo de simulación para, 159-174, 176-177
  Véase también modelo de tributo
Achen, Chris, 183
agentes, movilidad de los, y número de culturas, 232-233
agregación, 94, 154, 156
  Véase también actores políticos, emergencia de nuevos
aislación geográfica, 186
  Véase también segregación
AJUSTADORA, 36
Akerlof, George A., 82 n. 8, 87
Albin, Peter, 262
Aldenderfer, Mark S., 116
Alemania, 163
  alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
algoritmo genético, 19-21, 24-26, 28-29, 39-40, 44
  evolución de reglas con, 37-38
  en el Dilema del Prisionero, 31-35, 59-60
alianzas, formación de, 92, 104-111
  en los alineamientos de las naciones europeas en la Segunda Guerra Mundial, 92, 104-111
  entre firmas, 112-114, 121, 127
  impacto de la rivalidad sobre las, 128-130, 142-144, 145
  importancia de la magnitud para, 127, 13, 132, 142-146
  en la política internacional, 102
  en la teoría paisaje, 104-105
  entre partidos políticos, 91, 113
  en las teorías de la elección racional, 110-112
  en el realismo, 109
  para fijar estándares de productos, 125-131
alineamiento de modelos por computadora, 21, 217, 219-220, 224, 227, 235
Almond, Gabriel, 87
Altfeld, Michael F., 104 n. 8, 110, 111, 116
amabilidad de las reglas, 37
  Véase también TOMA Y DACA
amotinamiento, 60
análisis de sensibilidad:
  del *Axelrod Culture Model*, 232-234
  del abordaje tipo paisaje a la formación de alianzas, 142-143
Anderson, Benedict, 184, 213
Anderson, Pauk, 220, 225 n. 9, 242
Anderson, Philip W., 91, 93
Ando, Albert, 103 n. 6, 118
Arangno, D., 225 n. 8, 243

Arkin, William, 78, 87
armas nucleares, normas con respecto a la proliferación de, 61, 64, 77, 78, 87
Arnold, Vladimir Igorevich, 116, 134, 148
Arrow, K. J., 116, 149
Arterton, F. Chistopher, 212
Arthur, W. Brian, 116, 125, 146 n. 17, 149, 194 n. 9, 211, 213, 261
Asch, Solomon E., 79, 87
Askin, Byron, 148 n. 20
audacia. *Véase* normas, establecimiento de
Ausubel, J., 213, 261
Axelrod Culture Model (ACM), 179-215, 223, 226
  extensiones de, 257-258
  comparación con *Sugarscape*, 221, 223, 226, 233
  y resultados de replicación con *Sugarscape*, 227-231
  Véase también alineamiento de modelos por computadora; cultura; influencia social, modelo de; *Sugarscape*
Axelrod, David, 183
Axelrod, Robert, 9, 13, 18, 20, 22, 25-26, 27, 28, 37, 44, 47, 50, 51, 57, 60, 63, 67, 69, 84, 91, 94, 123, 128, 148-149, 156, 160, 163-164, 177, 180, 183-188, 206, 213, 219-223, 235-238, 260, 262
  Evolution of Cooperation, 17, 47, 59, 177, 261
  bitácora de trabajo para, 236
Axtell, Robert, 21, 156 n. 1, 183 n. 1, 189, 199, 207, 210, 213, 214, 217, 219, 221, 223, 225, 226, 228, 234, 235, 236, 237, 238, 240, 243, 260, 262
  bitácora de trabajo para, 237-243
  Véase también Sugarscape

Bak, Per, 262
Baker, Wayne, 103 n. 6, 118
Barth, Fredrik, 186, 213
Batson, C. Daniel, 64, 88
Baumann, M. G., 131, 151
Bendor, J., 52, 57
Bennett, D. Scott, 20, 92, 94, 121, 123, 124 n. 1, 149, 163 n. 7, 164 n. 8, 177, 183 n. 1, 213, 262
Bergstrom, Peter, 215
Bernheim, B. D., 129, 149
Bernstein, A., 186, 212
Besen, S. M., 123, 126, 149
Binmore, Ken, 29, 44
Black-Michaud, Jacob, 64, 87
Blagovolin, Sergei, 48
Blake, William, 242
Blashfield, Roger K., 103, 116
Bonham, G. Matthew, 182
Boorman, Scott, 43, 44
Bosnia, 11
Boyd, Robert, 52, 57, 188, 189 n., 213
Bradbury, William C., 72, 88
Bremer, Stuart A., 105, 118, 189 n. 4, 192 n. 7, 213
Bresnahan, T., 123, 149
Briderman, Albert D., 88
Brock, G., 126, 149
Bronfenbrenner, Urie, 72, 87
Brookings Institution, 214
Brown, Thad A., 188, 189 n. 4, 213
Bruderer, Erhard, 20, 94 n. 1, 121, 123, 213
Bueno de Mesquita, Bruce, 104 n. 8, 110, 111, 116, 164 n. 8, 177
Bulgaria:
  colapso del comunismo en, 117
  alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Burks, Arthur, 13, 23, 156 n. 1, 183 n. 1
Burma, 211
Burnham, Walter Dean, 114, 116
Burr, Aaron, 63, 64
Burton, R. M., 225 n. 8, 242
Buss, Leo W., 153, 155, 157, 158, 177

Campbell, Angus, 185, 213
Cantril, Hadley, 72, 87
caprichos, 186

Carley, Kathleen, 113, 116, 188, 213, 222 n. 5, 242
Carrington, Peter, 113, 117
Carroll, Glenn R., 188, 214, 222 n. 5, 243
Cavalli-Sforza, L. L., 188, 213, 222 n. 5, 243
Caves, Richard E., 130 n. 5, 149
Cederman, Lars-Erik, 156 n. 1, 183 n. 1, 189 n. 4, 210, 213, 261
CEE, 112 n. 22
Véase también Mercado Común
Cialdini, Robert H., 78, 87
Cohen, Michael, 13, 21, 23, 24, 28 n. 1, 42 n. 8, 63 n. 1, 94 n. 1
Coleman, James, 185, 188, 213-214
Coleman, Jeffrey, 63 n. 1
colonialismo, 63-66, 87
compromiso:
en la construcción de alianzas, 146
en la evolución, 41-42
Véase también modelo de tributo
Computer Technology Research Corp., 135 n. 10, 149
comunidades, evolución de, 179
conflictos de sucesión, 184-185, 211
Congreso, normas en, 64
Conte, R., 156 n., 213
contrición, estrategias con, 47, 51-53
en un entorno ruidoso, 56, 57
Véase también TOMA Y DACA Contrita
Converse, Philip E., 213
Cooke, Kenneth L., 188, 215
cooperación, basada en la reciprocidad, 24
Véase también TOMA Y DACA
Corea del Norte, 211
Corea del Sur, 163
Courant, Paul, 156 n. 1, 183 n. 1
Coveney, Peter, 262
Crandall, R. W., 149
creencias previas, 23
Crisis de los Misiles cubana, 47
cromosoma, 29, 31-35, 40-43
cruza, 28, 33-34, 42-44
cultura compartida, 10, 19
Véase también Axelrod Culture Model; regiones culturales; cultura; influencia social, modelo de; *Sugarscape*
cultura:
cambio en la, 183, 184, 187-189
definición de, 184, 186-188
diseminación de, 179, 190-192, 207-208
corrientes en, 207-208
como lista de aspectos y rasgos, 190-191, 195-196
persistencia de diferencias en, 186-187, 209
estabilidad de, 195-201, 204-205
Véase también Axlerod Culture Model; regiones culturales; zonas culturales; influencias social, modelo de; *Sugarscape*
Cusack, T. R., 159 n. 3, 177, 189 n. 4, 192 n. 7, 213
Cyert, Richard M., 67, 88, 220, 243
Chammah, Albert W., 49, 50
Checoslovaquia, alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Chen, Kan, 262
China, 159
Chopra, A., 123, 149
Chowdhury, Debashish, 117

D'Ambrosio, Lisa, 9 n. 1, 13
Dahl, Robert, 64, 88, 114, 117
Darley, John M., 64, 88
Darwin, Charles, 43
David, Paul, 101, 117, 125, 127, 131, 146 n. 17, 149
Davis, Lawrence, 28 n., 261
Dawkins, Richard, 155
DeSwaan, Michael, 113, 117
deducción, 15-17, 18, 67
demostración social, 63, 79-80
Deutsch, Karl, 184, 210, 213
diferenciación social, 186
diferenciación, 43
Dike, Bruce A., 26, 27

Dilema del Prisionero, 19-20
descripción del, 28-29
y emergencia de nuevos actores políticos, 154, 159
evolución de estrategias en, 23-25
y algoritmo genético, 31-32
y teoría paisaje, 116
ruido en, 53-54
y normas, 68, 85
réditos en con ruido, 51
bipersonal e iterado, 9, 12, 15, 29, 31-32
Véase también Axelrod, Robert, *Evolution of Cooperation*
Dinamarca, alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Dion, Douglas, 9 n. 1, 13, 48, 50, 52, 56, 57, 148 n. 20
discriminación racial, 61, 87
Véase también segregación
disuasión, 63, 78
divorcio, 18
Downs, George W., 47, 50
Doz, Y. L., 150
duelo, 61, 63-64
Duran, Benjamin, 103, 117
Durham, William H., 188, 214
Dutton, J. M., 225 n. 8, 243

Edwards, C. D., 129 n. 4, 149
efecto eco, 47, 56
Véase también generosidad; TOMA Y DACA Generosa
efectos de la corriente, 126-127, 130
Efron, B., 232 n., 243
elección racional, 16
y formación de alianzas, 110-111
y emergencia de nuevos actores políticos, 158-159
en modelos de cambio cultural, 189
en modelos de tributo, 161
y normas, 67-68
elecciones críticas, 114
emergencia de nuevos actores políticos. *Véase* actores políticos, emergencia de nuevos
enemistad entre grupos, normas referentes a, 64
engaño, 60, 68
Véase también normas
Epstein, Joshua, 21, 156 n. 1, 178, 183 n. 1, 189, 210, 213, 214, 217, 219, 221, 223, 225, 226, 228, 234, 236, 238, 240, 243, 260, 262
Véase también Sugarscape
equilibrio de Nash, en la formación de alianzas, 121-123, 134-135, 137, 141, 142
Véase también teoría de los juegos
equivalencia de modelos, 230-231
estándares para, 226, 240-242
Véase también alineamiento de modelos computacionales
Ermoliev, Y. M., 149
errores aleatorios, 51
Véase también implementación errónea; malentendidos; ruido
errores. *Véase* ruido
escisiones:
en la política doméstica, 114-115, 184-185
sociales, 114-115, 211-212
análisis por núcleo, y teoría paisaje, 102-103
esclavitud, 61, 87
especiación (diferenciación de especies), 43
especialización, 186
Estados Unidos, 47-48, 163
como nuevo actor político, 158
y ejecución de normas, 73, 76-78
Estados, formación de, 184, 211
Estonia, 11
alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
estrategia de Pavlov, 20, 49
en entorno ruidoso, 49, 51-56, 57

Véase también Pavlov generosa; estrategias; Gana-persiste, Pierde-cambia
estrategias adaptativas, 16, 189
estrategias, 35, 39, 41, 47-48, 51-52
óptimas, 16, 28
Véase también TYDC contrita; Pavlov generosa; TYDC generosa; estrategia Pavlov TOMA Y DACA
estructuras organizativas, 115
estudios de replicación. *Véase* alineamiento de modelos computacionales
Ethier, W., 146 n. 17, 149
Europa del Este, colapso del comunismo en, 61, 111-112
Evans, P. B., 178
Everitt, Brian, 103 n. 6, 117
evolución:
aplicaciones del algoritmo genético a la, 24
biológica, 28, 42
importancia del compromiso temprano en la, 29, 40-42
de estrategias en el Dilema del Prisionero, 26, 37-38
Evolution of Cooperation. Véase Axelrod, Robert

Farmer, J. D., 27
Farrell, J., 124, 125, 126, 127, 130, 136, 149, 188, 206, 215
Faust, Katherine, 103 n. 6, 118
Feldman, M. W., 222 n. 5, 243
Feldman, W. L., 188, 213
Ferejohn, John, 63 n. 1
Fiegenbaum, A., 130 n. 5, 150
Fieldhouse, Richard W., 78, 87
Finlandia, alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Fiorina, Morris, 63 n. 1
Fischer, Gregory W., 220, 225 n. 9, 242
Flamm, K., 149
flexibilidad, 40
Foley, Duncan K., 262
Fontana, Walter, 153, 155, 156 n. 1, 157, 178
Forrest, Stephanie, 28 n. 1, 63 n. 1, 156 n. 1
Foster, D., 52 n. 1, 58
Francia, 159
alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Freed, Mark, 148 n. 20
Freeman, J. H., 130 n. 5, 150
Friedkin, Noah E., 186, 188, 214, 215, 222 n. 5, 243
Friedman, James W., 67, 88
fronteras culturales, disolución de, 199, 202-205
Fudenberg, D., 52 n. 1, 57
Fukuyama, Francis, 212, 214
fumar en público, normas en referencia a, 65, 81
Furubotn, Eirik G., 65, 88

Gabel, H. L., 132, 150
Galaskiewicz, Joseph, 103 n. 6, 118
Gallini, 127, 149
Gana-persiste, Pierde-cambia, 48-49, 52
Véase también estrategia Pavlov
Geertz, Clifford, 188, 214
Gell-Mann, Murray, 156 n. 1, 262
generosidad, estrategias con, 47, 51-52
y efecto eco, 52
en entornos ruidosos, 56-57
Véase también Pavlov generosa; TOMA Y DACA generosa; estrategias
genes, 32 n. 2, 39-42
y paisaje de adaptación de, 101
Giddens, Anthony, 184, 214
Gilbert, Nigel, 156 n., 213
Gilpin, Robert, 63 n. 1
Glance, Natalie, 196 n. 6, 214
Godfray, H. C. J., 52, 57
Goldberg, David E., 23, 27, 31, 44
Goldstein, Joshua, 51
Golfo de Sidra, 76
Gorbachov, Mikhail, 11, 47

GPavlov, 53, 54, 55
Véase Pavlov generosa
Gran Bretaña. *Véase* Reino Unido
Granovetter, Mark, 61, 62
Grecia, alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Greenstein, S., 125, 126, 127, 131, 149
Grefenstette, John J., 44
grupos, 29, 75-76
membresía en grupos, 63, 79-80
Véase también alianzas, formación de
Guerra de Corea, 163
Guerra Fría, 9-10, 18, 51, 154
guerra química, normas respecto a, 64, 87
Guetzkow, Harold, 87

Haigh, J., 40, 45
Hamel, G., 128, 150
Hamilton, Alexander, 63-64
Hamilton, William D., 25-26, 29, 39 n. 4, 44
Hannan, Michael T., 130 n. 5, 150, 186, 214
Hardin, Garrett, 60, 62, 68, 88, 157, 178
Hardin, Russell, 68, 88
Harrington, Jay, 183 n. 1
Harrison, J. Richard, 188, 214, 222 n. 5, 243
Hart, S., 131, 150
Hartman, R. S., 129 n. 4, 150
Hearn, D. W., 103 n. 6, 117
Hebb, D. O., 157, 178
Heil, Greg H., 113, 117
Hein, R., 118, 150
Herman, Robert, 117, 213, 261
Hersh, Seymour M., 51, 57
Herzog, Donald, 63 n. 1
Highfield, Roger, 262
Hilgemann, Werner, 106 n. 11, 117
Hirschfeld, Larry, 183 n. 1
Hoel, P. G., 229, 243
Holsti, Ole R., 104 n. 7, 117
Holland, John, 13, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 33, 34, 41, 44, 63 n. 1, 70 n. 2, 88, 94 n. 1, 148 n. 20, 150, 153, 155, 156, 157, 178, 183, 261, 262
Homans, George C., 113, 117, 187, 214
Hopfield, John J., 102, 117, 134, 150
Hopmann, Terence, 104 n. 7, 117
Huberman, Bernardo A., 192 n. 6, 214
Huckfeldt, Robert, 188, 189 n. 4, 214
Hungría, alineamiento predicho en la Segunda Mundial, 103-112
Hunt, W. Ben, 113, 117
Huntington, Samuel P., 211, 214
Huth, P., 164 n. 8, 178

Iacovov, Neophytos, 215
Illinois, 180
implementación errada, 10, 12, 20, 47-49, 51
Véase también ruido
inducción, 15-16
influencia social, 21, 179-180
genética en, 183
modelo de, 190-192
tiempo en los modelos de, 202, 204, 219
Véase también Axelrod Culture Model; cultura; *Sugarscape*
integración transnacional, 185, 211
internalización, 63, 77-78, 86
Irak, 101
Islas Salomón, número de lenguas en, 207
Israel, 101
Italia, coaliciones políticas en, 20, 91
alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Iwasaki, Yuma, 103 n. 6, 118

Jackson, John E., 148 n. 20
Johnsen, Eugene C., 186, 188, 214, 222 n. 5, 243
Johnson, L. L., 126, 149
Jorde, T. M., 128, 150

Kaniovski, Y. M., 149
Karnani, A., 129 n. 4, 150
Katz, M., 125, 126, 130, 132, 147, 150
Kauffman, Stuart A., 102, 117, 153, 155, 262
Kaufman, Leonard, 103, 109, 117
Kelleher, Catherine, 48
Kelly, Kevin, 246
Kemeny, John G., 200, 214
Kennedy, Paul, 170, 171, 178
Keohane, Robert, 60, 62, 63, 64, 84, 87, 88
Key, V. O., 185, 214
Kinder, Hermann, 106 n. 11, 117
Kluckhorn, Clyde, 157, 214
Knepell, P. L., 225 n., 243
Kollman, Ken, 261
Kollock, P., 52 n. 1, 57
Kormendi, Roger C., 148 n. 20
Kraines, David, 59, 50
Kraines, Vivian, 49
Kramer, E. E., 239, 243
Kramer, R. M., 52
Krasner, Stephen D., 64, 88
Krehbiel, Keith, 64, 88
Kreps, David M., 64, 88
Kroeber, Alfred M., 187, 214
Krugman, P., 146 n. 17, 147, 150
Kuran, Timur, 61, 62
Kurz, M., 131, 150
Kydland, Finn, 103 n. 6, 117

Lalman, D., 164 n. 8, 177
Lanchester, F. W., 161, 178
Lane, D., 243
Langton, G. C., 27, 57, 261
Larrabee, Stephen F., 112
Latane, Bibb, 186, 215, 243
Latonia, alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Latour, B., 225, 243
Laver, Michael, 91, 93, 113, 117
Lawphongpanich, S., 103-106, 117
Lazer, David, 183 n. 1
lenguaje sexista, normas en referencia a, 65
Lesser, M. J., 232 n. 15, 243
Levitt, Paul R., 43-44
Levitt, Ray, 220
Lewis, David K., 188, 206, 214
ley, normas en referencia a, 63, 81-82
libertades civiles, y normas, 64, 80
Libia, intento de modificar la ley internacional por parte de, 76
Lijphart, Arend, 91, 93
Linck, Jim, 148 n. 20
linchamiento, normas relativas al, 72, 76-77
Lindgren, Kristain, 26, 27, 52 n. 1, 57, 261
Lipset, Seymour M., 114, 117, 185, 214
Liska, George, 104, 117
Lituania, alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Liu, James H., 214
Lomborg, Bjorn, 29, 45
Lumsden, Charles J., 188, 214

magnitud, importancia para la formación de alianzas, 97, 98-101, 115
malentendidos, 10, 12, 20, 47
Véase también ruido
Manion, Melanie, 63 n. 1
March, James G., 19, 22, 40, 45, 67, 88, 188, 214, 220, 222 n. 5, 242, 243, 261
Marsden, Peter J., 186, 215
Martens, Dave, 148 n. 20
Marx, Karl, 77 n. 4
Maskin, E., 52 n. 1, 57
Matthews, Donald R., 64, 88
May, R. M., 52, 57
Maynard Smith, J., 40, 45, 153, 155
McBurnett, Michael, 188, 189 n. 4, 213
McCalla, Robert, 63 n. 1
McGuire, Ann, 63 n. 1

Meggiddo, Nimrod, 29, 45
Mendel, G., 43
Mercado Común112, 157
metanormas, 61, 63, 65, 72-75
en las sociedades comunistas, 72
Véase también normas
Meyer, J., 214
Meyers, Samuel M., 72, 88
Mezard, Marc, 102, 117
Mihalka, Michael, 189 n. 4, 192 n. 7, 213
Milinski, Manfred, 18, 22, 57
Miller, John H., 29, 45, 149 n. 1, 261
Miller, Warren E., 213
Minsky, M., 157, 178
Mitchell, Melanie, 23, 27, 156
Mittchell, Will, 72, 121-123, 150, 213
modas, 186
modelado total *[bottom up modeling]*, 15, 157
Véase también modelos basados en los agentes
modelo de tributo, 156, 159
características de, 172, 173
núcleos en, 165, 167-171
compromiso en, 156-169, 175-176
emergencia de nuevos actores políticos en, 174-175
descripción de, 160-164
implicancias de para el análisis histórico, 175
implicancias de para la política internacional, 177
variaciones de, 175-176
riqueza en, 164-165, 169, 171-172, 176
Véase también actores políticos, emergencia de nuevos
modelos basados en los agentes, 15-19, 21, 217, 223, 245, 247-250
y elegir bandos, 93
esbozo de curso sobre, 259-262
para la diseminación cultural, 190
ejercicios en, 255-259
simulación de, 17
el tiempo en, 217
Véase también simulación por computadora
modelos *spin-glass*, 91-92, 102-103
Moeschlin, O., 118, 150
Molander, P., 52, 57
Morgan, Michael-John, 28 n., 113, 117, 261
Morgenthau, Hans J., 118
mormones, 62
Morrow, James D., 104 n. 7, 118
multiculturalismo, 185
mutación, 28-29, 31, 33-35, 41, 44, 70-72, 85
mutilación genital femenina, 62

Nadel, L., 178
Napoleon, 189
Nelson, Richard R., 188, 215
New York Times, 73
Newcomb, Theodore M., 113, 118
Newman, J., 178
Nicolis, Gregoire, 101, 102, 118, 134, 150
nichos ecológicos, 43
Nixon, Richard, 64
normas, 10-13, 20
de conducta de las relaciones internacionales, 59
definición de, 65-66
costos de ejecución, 67
establecimiento de, 68-74, 85
aproximación evolucionista a, 66-68, 87
juego, 68-72
como mecanismo para regular conflictos, 63
mecanismos para sustentar, 75-85
como solución para problemas de acción colectiva, 60
Nowak, Andrzej, 186, 188, 214, 215, 222 n. 5, 243
Nowak, Martin, 48, 50, 52, 53, 57
núcleos:
definición de, 168

como nuevos actores políticos, 174-177
Nueva Zelanda, 78
nuevos niveles de actores políticos. *Véase* actores políticos, emergencia de nuevos
Nye, J. S., Jr., 171, 178

Obel, B., 225 n. 8, 242
Odell, Patrick L., 103, 117
Olsen, J. P., 243
Olson, Mancur, Jr., 60, 62, 77, 88
oposición, tolerancia a, 64
Opp, Karl-Dieter, 64, 88
Orbell, John M., 80, 89
organismos multicelulares, evolución de, 153, 157-158
Orren, Gary R., 212
ostracismo, y normas, 62
OTAN, 97, 111-112
Owen, Guillermo, 62, 112, 118, 131, 150
Oye, Kenneth, 50, 59, 60, 62

Pacto de Varsovia, 92, 97, 111-112
"paga o verás...", dinámica del, 159
Véase también modelo de tributo
Page, Scott, 261
Pahre, Robert, 156 n. 1, 183 n. 1
paisajes de energía, 92, 98-99
Panagaryia, A., 146 n. 17
parásitos, 25
Parisi, Giorgio, 102, 117
partidos políticos, 19
y formación de coaliciones, 91, 112-112
Pavlov generosa, 53
éxito de en entorno ruidoso, 54-55
Pearce, David, 57
Pearl Harbor, 163
peces gasterosteos, 18
Pejovich, Svetozar, 65, 88
pena (o castigo) de los que engañan, 60, 68, 72
Véase también normas
perdón, estrategias con, 48
persuasión, estilos de argumentaciones de, 179
Véase también influencia social
Pines, David, 102, 116, 118, 149
plan de investigación X-31, 26
polarización, y cultura, 183, 206, 209, 212
Polonia:
alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
supresión de Solidaridad en, 72
Porter, 130 n. 5, 149
Poundstone, William, 260
Powell, R., 164 n. 8, 178
Prahalad, C. K., 150
predominio, 63, 75-77, 84, 86
Prietula, Michael, 220
Prigogine, Ilya, 101, 102, 118, 134 n. 8, 150
Primera Guerra Mundial, 163
guerra de trincheras en, 59
principio de señalamiento, en el juego de normas, 82-83
principio KISS, 17
principios de codificación, 42
Prohibición, fracaso de, 81
propensión, 92, 102-103
definición de, 97
medidas de, 120
para que dos firmas se alíen, 134
Véase también teoría paisaje
propiedades emergentes, 16
puntos de vista extremos, preferencia por, 186
Putnam, Robert D., 185, 188, 212, 215, 222 n. 5, 243

racionalidad limitada, 121y normas, 63, 85
en el modelo de tributo, 174
Véase también elección racional
racionalidad limitada, 63, 85, 121, 172
Véase también teoría paisaje, elección racional

Rajan, R., 131, 150
Rapoport, Anatol, 31, 49, 50
Rasmussen, S., 27
realismo, en la formación de alianzas, 103-104, 109
reciprocidad, 9
bases del TOMA Y DACA en, 30
efectividad de con ruido, 52
en el Dilema del Prisionero, 60
robustez de, 26
guerra de trincheras y, 59
Véase también TOMA Y DACA
recursos en Internet, 21, 49, 209 n. 13, 245, 258 n. 7
redes sociales, 113-114
regiones culturales:
definición de, 192
formación de, 194-195
número de, 195-199, 211-212, 232-233
y espectro de interacción, 197
y alcance de las posibilidades culturales, 195-196
y extensión del territorio, 197-199, 209-210
estabilidad de, 205, 209-210
Véase también Axelrod Culture Model; zonas culturales; cultura; influencia social, modelo de
reglas aleatorias, 16, 47, 53
reglas. *Véase* estrategias
Reino Unido, alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
Renfrew, Colin, 188, 215, 222 n. 5, 243
reproducción asexual, 37, 39
reproducción sexual, 25, 28, 39 n. 7, 41, 42
reputación, 60, 63, 82-85
Resnick, Mitchel, 247, 260, 262
Resnick, Paul, 212, 215
Richerson, Peter J., 188, 189 n., 213
Riedl, John, 215
Riker, William, 91, 93
Riolo, Rick L., 13, 31, 45, 156 n. 1, 183 n. 1, 261
riqueza:
definida, 163
medidas de, 163
Véase también modelo de tributo
rivalidad, operatización de, 138-139, 148
Roberts, Marc J., 149
Rocke, David M., 50
Rogers, Everett M., 187, 188, 215
Rokkan, Stein, 114, 117
Roma, 159
Ross, Edward Alsworth, 114, 118
Rousseeuw, Peter J., 117
Rubinstein, Ariel, 29, 45
Rueschemeyer, D. H., 178
ruido, 19
aproximaciones para habérselas con, 51
y TOMA Y DACA, 47
Véase también Dilema del Prisionero
Rumania, alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103 n. 112
Rusia, 11
Russett, Bruce, 118
Rutter, Owen, 59, 62

Sabloff, Jeremy A., 188, 215, 222 n. 5, 243
Saldinger, Amy, 13, 63 n. 1
Saloner, G., 123, 124, 125, 126, 130, 136, 149, 150, 188, 206, 215
Samuelson, Larry, 29, 44
Sanders, David, 94 n. 1
Sanders, Lynn, 63 n. 1, 79 n. 5
Santa Fe Institute, 91, 156, 219 n. 1, 258 n. 2
Scott, John, 89, 77, 89
Schaefer, Phil, 106 n. 11
Schelling, Thomas, 255, 256, 260, 262
Schendel, D., 150
Schepple, Kim, 63
Schofield, Norman, 117
Schotter, Andrew, 65, 89
Schrodt, Philip A., 189 n. 4, 192 n. 7, 215

Schwartz-Shea, Peregrine, 88
segregación, 186, 255-256
Segunda Guerra Mundial, alineamiento de naciones en. *Véase* alianzas, formación de
Selten, R., 67, 89, 131, 151
Shapiro, C., 125, 126, 130-132, 147
Shapiro, Michael J., 182
Shapley, L. S., 131, 151
Shaw, Christopher D., 99, 101, 116, 134 n. 8, 148
Shepsle, Kenneth, 91, 93
Sherif, Muzafer, 64, 79, 89
Shubik, M., 131, 151
Siegel, S., 228, 243
Sigmund, Kari, 48, 50, 52, 53, 57
Simmel, Georg, 186, 215
Simmons, Randall T., 88
Simon, Carl, 13, 94 n. 1, 156 n. 1, 183 n. 1
Simon, Herbert A., 19, 22, 118, 261
Simpleton, 49
Véase estrategia Pavlov
simulación ecológica, con ruido, 51-55
Véase también simulación por computadora
simulación por computadora, 15, 19, 37, 247-250
de la emergencia de nuevos actores políticos, 156-174, 176-177
algoritmo genético y, 31, 35-36
buenos hábitos para la, 248-254
en el modelo de influencia social, 189
en el juego de normas, 63, 69-72, 84-85
en el Dilema del Prisionero, 29-38, 54-55
programas para, 247-248
tópicos susceptibles de, 42-44
Véase también torneo de computadora para el Dilema del Prisionero,
Singer, J. David, 105, 118
Sirbu, M., 124, 128, 137, 138, 151
Siria, 101
sistemas sociales artificiales, 15
Véase también modelos basados en los agentes; *Sugarscape*
Siverson, Randolph M., 50
Skocpol, T., 178
Small, Melvin, 105 n. 9, 118
Smith, Robert E., 26
Snell, J. Laurie, 214
Snyder, Glenn H., 103, 104, 118
Sobel, Andrew, 63 n. 1
socialización, normas y, 64
Solidaridad (Polonia), 72
Spence, A. Michael, 82 n. 8, 89
Sperber, Dan, 183 n. 1
Sprague, John, 188, 189 n. 4, 214
Stacchetti, Ennio, 87
Starbuck, W. H., 225 n. 8, 243
Stein, Charles, 63 n. 1, 117, 157
Stein, Daniel L., 102, 118, 178
Stoker, Laura, 63
Stokes, Donald E., 213
Stoll, R. J., 159 n. 3, 177, 189 n. 4, 192 n. 7, 213
Stout, S., 57
Stuckey, John, 105, 118
Sugarscape, 189 n. 3, 183, 221-224, 227
comparación de con el *Axelrod Culture Model*, 221, 223-224, 226, 232
Véase también Axtell, Robert; Epstein, Joshua M.,
Sugden, R., 52, 58
Sullivan, John D., 104, 117
Suslow, Valerie, 148 n. 20
sustentabilidad, 157
Szamrej, Jacek, 215, 243
Szathmary, Eors, 153, 155

Tanese, Reiko, 25, 27, 28 n. 1, 43, 44, 45
Taylor C., 27
tecnología patentada, 126
Teece, D. J., 128, 150, 151
teoría de la complejidad, 15, 245
Véase también modelos basados en los agentes

teoría de los juegos, 16, 245
y composición de alianzas, 131-132
aplicaciones de simulaciones genéticas a la, 42-44
supuestos de, 121
y la emergencia de nuevos actores políticos, 157-159
y la teoría paisaje, 102
y las normas, 66-67
teoría paisaje, 94-96, 102-103
aplicación a las alianzas de negocios, 112-112, 132-135
aplicación a las alianzas políticas, 104-113
aplicación a los problemas sociales, 94-96
frustración en, 97-101
y genes, 101
como guía para las políticas, 96, 101
predicciones de, 100, 103
maneras de mejorar los fundamentos de, 115-116
Terrell, John, 207, 215
Thom, Rene, 102, 118
Thomas, Robert E., 20, 94, 121, 123, 213
Thompson, Gerald L., 115, 214
Thompson, James D., 118
Tibshirani, R. J., 232, 243
Tilly, C., 159, 178
Todd, Peter M., 262
TOMA Y DACA Contrita, 51-53, 70
éxito de con ruido, 53-55, 56-57
Véase también TOMA Y DACA
TOMA Y DACA Generosa, 20, 51-53
éxito de con ruido, 54-55, 56-57
TOMA Y DACA, 18, 22, 48, 50, 57, 58
propiedades de, 35
reciprocidad de, 18
sensibilidad de al ruido, 47, 49
éxito de, 30, 35-36, 42, 48-49
Véase también TOMA Y DACA Contrita; TOMA Y DACA Generosa; reciprocidad
Torneo por computadora para el Dilema del Prisionero, 9, 18, 23-24, 29, 30-31, 47, 49, 53-54
torneo. *Véase* torneo de computadora para el Dilema del Prisionero
tortura, 61
trincheras de combate, ética en, 59-60
Trow, Martin A., 214
Truman, Ben C., 64, 89
TYC. *Véase* TOMA Y DACA
TYDC. *Véase* TOMA Y DACA Contrita
TYDG. *Véase* TOMA Y DACA Generosa

Ullmann-Margalitt, Edna, 84, 89, 188, 215
Unión Soviética. *Véase* URSS
Universidad de British Columbia, 148 n. 20
Universidad de California, Berkeley, 24
Universidad de Chicago, 24
Universidad de Michigan, 13, 20, 24, 27, 121, 148 n. 20, 219 n. 1, 226, 234, 245
Universidad de Yale, 24
UNIX, batalla sobre los estándares industriales para, 135-136, 146-147
URSS, 10, 47-49, 157 n. 2
colapso del comunismo en, 11, 61, 91-93, 153-154, 157, 185
derribamiento de un avión de línea de Corea del Sur por, 51
como nuevo actor político, 158-159
alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112
y proliferación de armas nucleares, 77
supresión de Solidaridad por, 72
Utah, 62
Uzbekistán, 11

variabilidad genética, 41
Varian, Hal R., 148 n. 20
Veblen, Thorstein, 83, 89
vengatividad. *Véase* normas, establecimiento de
Ventura, J. A., 103, 117

Verba, Sidney, 64, 87
Virasoro, Miguel Ángel, 102, 117
viscosidad de la población, 43
Voget, Fred, 187, 215

Waldrop, M. Mitchell, 91, 93
Walt, Stephen M., 103, 104 n. 8, 118
Waltz, Kenneth N., 105
Wasserman, Stanley, 103, 118
Watergate, 64
Webster, 189
Weidlick, W., 117
Weisbuch, Gerard, 148 n. 20, 156 n. 1
Weiss, M. B. H., 124, 128, 137, 138, 151
Weissinger-Baylon, Roger, 242
Werden, G. J., 131, 151
Wernerfelt, 129 n. 4, 150
Whinston, M. D., 129 n. 4, 149
Wigderson, Avi, 29, 45
Wilson, Edward O., 188, 214
Wilson, Robert, 67, 88
Winter, Sidney G., 188, 215
Woolgar, S., 225, 243
Wright, Sewall, 39, 45, 101, 119
Wu, Jianzhong, 20, 49, 51
Wuensche, A., 232, 243

Yoon, David, 63 n. 1, 79 n. 5, 80 n. 6
Young, H. P., 52 n. 1, 58
Yugoslavia, 10-12, 153-154
  desintegración de, 12
  alineamiento predicho en la Segunda Guerra Mundial, 103-112

Zeeman, E. C., 102-119
zonas culturales, 201-205
Véase también regiones culturales; cultura

Índice de cuadros y figuras

Cuadros

1.1. El Dilema del Prisionero 30
1.2. La simulación básica 33
3.1. Ejemplo de réditos en el juego de normas alcanzados por un jugador con una Audacia igual a 2/7 y una Vengatividad igual a 4/7 69
4.1. Las dos configuraciones predichas para la Segunda Guerra Mundial en Europa 107
5.1. Las dos configuraciones de equilibrios de Nash 142
5.2. Análisis de variación en los parámetros de rivalidad alrededor del caso base 143
5.3. Análisis extendido de la variación en los parámetros de rivalidad 144
6.1. Compromisos que conforman un patrón de proximidad (de la Población 2, año 25) 168
6.2. Compromisos que conforman el patrón de dos núcleos (de la Población 2, año 50) 168
6.3. Desarrollo de núcleos de compromisos (Luchas y pagos que involucran al individuo 5 de la Población 2 entre los años 25 y 50) ... 169
7.1. Un conjunto inicial típico de culturas 191
7.2. Número promedio de regiones estables 196
7.3. Una ilustración de la influencia social entre dialectos 201
A.1. Número promedio de regiones estables 227
A.2. Bitácora de trabajo de Axelrod 236
A.3. Bitácora de trabajo de Axtell 237

Figuras

1.1. El Dilema del Prisionero en un entorno que evoluciona 38
2.1. Desempeño en función del ruido 54

2.2. Simulación ecológica 55
3.1. Juego de normas 68
3.2. Dinámica del juego de normas 71
3.3. Juego de metanormas 73
3.4. Dinámica del juego de metanormas 74
4.1. Paisaje con dos óptimas locales 99
6.1. Riqueza de cada actor a lo largo de 1.000 años (Población 1) 165
6.2. Luchas y Riqueza de la población en la Población 1 166
6.3. Riqueza de cada actor a lo largo de 1.000 años (Población 2) 166
6.4. Luchas y Riqueza de la población en la Población 2 166
6.5. Riqueza de cada actor a lo largo de 1.000 años (Población 3) 167
6.6. Luchas y Riqueza de la población en la Población 3 167
6.7. Colapso tardío de un actor poderoso. Pagos y luchas que involucran al actor 5 (Población 1, años 890-950) 171
6.8. Conflicto interno. Crecimiento de un segundo actor fuerte en un núcleo de los actores 4-8 (Población 3) 172
7.1. Mapa de las similitudes culturales 193
7.2. Número promedio de regiones estables 198
7.3. Número de regiones culturales y de zonas culturales a través del tiempo en un territorio extendido 203
A.1. Número promedio de regiones estables en el modelo cultural de Axelrod y la implementación en Sugarscape 229

Índice general

Prefacio 9
Introducción 15

1. Desarrollo de nuevas estrategias 23
   La evolución de las estrategias en el Dilema del Prisionero iterado 28
2. Habérselas con el ruido 47
   Cómo habérselas con el ruido en el Dilema del Prisionero iterado 51
3. Promoción de normas 59
   Una aproximación evolucionista a las normas 63
4. Elegir bandos 91
   Una teoría paisaje de la agregación 94
5. Establecimiento de estándares 121
   Formación de coaliciones en las alianzas de fijación de estándares 123
6. La construcción de nuevos actores políticos 153
   Un modelo para la emergencia de nuevos actores políticos 156
7. Diseminar cultura 179
   La diseminación cultural: un modelo
   con convergencia local y polarización global 183

Apéndice A. Réplica de modelos basados en los agentes 217
   Alinear modelos de simulación: estudio y resultados de un caso 219
Apéndice B. Recursos para el modelado basado en los agentes 245
   Recursos para el modelado basado en los agentes 247

Índice analítico 263
Índice de cuadros y figuras 275

Traducción de
ARIEL DILON